APA Publicación Electrónica
ISSN 2469-0228
www.peapaleontologica.org.ar



LA PALINOLOGÍA COMO UNA HERRAMIENTA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE PALEOAMBIENTES CONTINENTALES Y MARINOS DEL CUATERNARIO TARDÍO EN EL ARCHIPIÉLAGO DE TIERRA DEL FUEGO

LORENA LAURA MUSOTTO[1]
MARÍA SOLEDAD CANDEL[2]
ANA MARÍA BORROMEI[1]
JUAN FEDERICO PONCE[2]
MARÍA VIRGINIA BIANCHINOTTI[3]

[1]Instituto Geológico del Sur (INGEOSUR), Universidad Nacional del Sur-CONICET. Alem 1253 – Cuerpo B', Piso 2°, B8000CPB Bahía Blanca, Argentina.
[2]Centro Austral de Investigaciones Científicas (CADIC, CONICET), Laboratorio de Geomorfología y Cuaternario. B. Houssay 200, 9410 Ushuaia, Argentina.
[3]Centro de Recursos Naturales Renovables de la Zona Semiárida (CERZOS), Universidad Nacional del Sur-CONICET. Camino La Carrindanga km 7 E1, B8000CPB Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina.

Para citar este artículo: Lorena Laura Musotto, María Soledad Candel, Ana María Borromei, Juan Federico Ponce y María Virginia Bianchinotti (2018). La palinología como una herramienta para la caracterización de paleoambientes continentales y marinos del Cuaternario tardío en el Archipiélago de Tierra del Fuego. En: A.R. Prieto (Ed.), *Metodologías y estrategias del análisis palinológico del Cuaternario tardío. Publicación Electrónica de la Asociación Paleontológica Argentina* 18 (2): 131–155.

Link a este artículo: http://dx.doi.org/10.5710/PEAPA.16.05.2018.248

DESPLAZARSE HACIA ABAJO PARA ACCEDER AL ARTÍCULO

Asociación Paleontológica Argentina
Maipú 645 1° piso, C1006ACG, Buenos Aires
República Argentina
Tel/Fax (54-11) 4326-7563
Web: www.apaleontologica.org.ar

APA Publicación Electrónica
Año 2018 - 18(2): 131–155
ARTÍCULO
ISSN 2469-0228

LA PALINOLOGÍA COMO UNA HERRAMIENTA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE PALEOAMBIENTES CONTINENTALES Y MARINOS DEL CUATERNARIO TARDÍO EN EL ARCHIPIÉLAGO DE TIERRA DEL FUEGO

LORENA LAURA MUSOTTO[1], MARÍA SOLEDAD CANDEL[2], ANA MARÍA BORROMEI[1], JUAN FEDERICO PONCE[2] Y MARÍA VIRGINIA BIANCHINOTTI[3]

[1]Instituto Geológico del Sur (INGEOSUR), Universidad Nacional del Sur-CONICET. Alem 1253 – Cuerpo B', Piso 2°, B8000CPB Bahía Blanca, Argentina. *loremusotto@criba.edu.ar*; *borromei@criba.edu.ar*

[2]Centro Austral de Investigaciones Científicas (CADIC, CONICET), Laboratorio de Geomorfología y Cuaternario. B. Houssay 200, 9410 Ushuaia, Argentina. *soledadcandel@cadic-conicet.gob.ar*; *jfponce@cadic-conicet.gob.ar*

[3]Centro de Recursos Naturales Renovables de la Zona Semiárida (CERZOS), Universidad Nacional del Sur-CONICET. Camino La Carrindanga km 7 E1, B8000CPB Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina. *vbianchi@uns.edu.ar*

Resumen. En esta contribución se exponen los materiales estudiados, las metodologías de muestreo y las técnicas de laboratorio utilizadas para el análisis palinológico de turberas y depósitos marinos del Archipiélago de Tierra del Fuego. Asimismo, se evalúan las limitaciones y fortalezas del análisis de indicadores biológicos (polen, esporas, microplancton de pared orgánica y hongos). Finalmente, se presentan tres casos de estudio donde se ilustra: i) el análisis de microfósiles fúngicos como complemento para el estudio de los registros polínicos, ii) las relaciones entre los cambios en las comunidades vegetales y eventos climáticos, y iii) el uso del análisis polínico y de palinomorfos acuáticos para la caracterización de los ambientes costeros a lo largo del Canal Beagle.

Palabras clave. Polen. Microfósiles fúngicos. Palinomorfos acuáticos. Paleoambientes. Argentina.

Abstract. PALINOLOGY AS A TOOL FOR THE CHARACTERIZATION OF CONTINENTAL AND MARINE ENVIRONMENTS OF LATE QUATERNARY IN THE TIERRA DEL FUEGO ARCHIPELAGO. In this contribution, we describe the studied materials, sampling methodologies and laboratory techniques used for the palynological analysis of peatbogs and marine deposits of the Tierra del Fuego Archipelago. Likewise, the limitations and strengths of the analysis of biological indicators (pollen, spores, organic-walled microplankton and fungi) are evaluated. Finally, we present three case studies which illustrate: i) fungal microfossil analysis as a complement to the study of pollen records; ii) relationships between plant community changes and climatic events; and iii) the use of pollen and aquatic palynomorph analyses for the characterization of the coastal environments along the Beagle Channel.

Key words. Pollen. Fungal microfossils. Aquatic palynomorphs. Palaeoenvironments. Argentina.

La Isla Grande de Tierra del Fuego (IGTF) es la mayor de las islas del Archipiélago de Tierra del Fuego (Tierra del Fuego), ubicada entre los 53°–55° de latitud sur y 66°–74° de longitud oeste. Dado que constituye la masa terrestre continental más austral en América del Sur, situada solo a *ca.* 900 km al norte de la Península Antártica, ofrece el potencial para estudiar los cambios ambientales en las altas latitudes del Hemisferio Sur durante el Cuaternario tardío, brindando la oportunidad de establecer conexiones entre el englazamiento en América del Sur y la Antártida. Además, es una región clave en la que los vientos del oeste son la fuente principal de precipitación, y por lo tanto es ideal para la reconstrucción de la dinámica de los patrones de viento en el pasado.

El análisis palinológico de los registros fósiles proporciona información de utilidad para interpretar la evolución de los paleoambientes continentales y marinos a distintas escalas espaciales y temporales. Este comprende el estudio del polen, las esporas y los palinomorfos no polínicos (microplancton de pared orgánica, cianobacterias, restos de

invertebrados y esporas fúngicas). A partir de la reconstrucción pueden inferirse cambios en los diferentes indicadores biológicos en respuesta principalmente a las variaciones ambientales y climáticas del pasado.

En la IGTF el primer registro polínico fue publicado por Lennart von Post (1929) y corresponde a dos testigos de 150 cm de profundidad provenientes de una turbera ubicada en el extremo este del Lago Fagnano, sitio que quedó sepultado luego del terremoto de 1949. Las asociaciones polínicas reconocidas por von Post constituyen el primer registro de la historia de la vegetación para el extremo sur de América del Sur (Markgraf, 2016). Posteriormente, Väinö Auer analizó el contenido de polen de testigos de turba de 33 sitios desde la región de los bosques subantárticos occidentales hasta la estepa oriental. La presencia de tres niveles de cenizas volcánicas en los testigos le permitió establecer correlaciones entre los registros polínicos (Auer, 1933). La tefrocronología implementada por Auer fue de utilidad en aquellos tiempos en que aún no se habían desarrollado las técnicas de fechados radiocarbónicos. De esta manera, Auer estableció cronológicamente las posiciones cambiantes del límite estepa-bosque durante el Holoceno, haciendo una contribución significativa al conocimiento actual de la fitogeografía y del clima del Cuaternario de la Patagonia Austral (Markgraf, 2016; Prieto, 2018).

Desde entonces, mucho se ha avanzado en el estudio de la evolución del paisaje, las comunidades vegetales y su relación con los cambios climáticos. Los trabajos de Calvin Heusser (ver detalles en Heusser, 2003) y de Vera Markgraf (Markgraf, 1980, 1983, 1991, 1993; Markgraf y Huber, 2010) representan valiosos aportes al conocimiento de la historia vegetacional postglacial y de la dinámica climática de Tierra del Fuego. Durante las últimas décadas, nuevos estudios palinológicos contribuyeron a ampliar la información existente sobre las fluctuaciones ambientales y climáticas que se sucedieron en los últimos 17.000 años. La mayoría de estos estudios han sido realizados principalmente en los valles tributarios interiores de los Andes Fueguinos en el sur de Tierra del Fuego (Borromei, 1995; Mauquoy *et al*., 2004; Borromei *et al*., 2007, 2010, 2016), y en los depósitos marinos aflorantes a lo largo de la costa norte del Canal Beagle (Borromei y Quattrocchio, 2001, 2007; Grill *et al*., 2002; Candel *et al*., 2009, 2011, 2013, 2017; Candel, 2010). En el extremo suroriental de la IGTF se llevaron a cabo estudios en la localidad de Punta Moat (Borromei *et al*., 2014) y en la Isla de los Estados (Ponce, 2009; Ponce *et al*., 2011, 2017; Björck *et al*., 2012). También son varios los trabajos palinológicos realizados en el área central de la IGTF (Burry *et al*., 2007; Musotto, 2013; Musotto *et al*., 2013, 2016, 2017a,b; Waldmann *et al*., 2014). Por otra parte, se han efectuado reconstrucciones paleoambientales en el sector occidental de Tierra del Fuego (Markgraf, 1983; McCulloch y Davies, 2001; Fontana y Bennett, 2012; Mansilla *et al*., 2016).

La presente contribución incluye una síntesis de los estudios palinológicos del Cuaternario tardío llevados a cabo en el sector argentino de Tierra del Fuego, sobre la base de los datos publicados por los autores de este trabajo (Fig. 1; Tab. 1). Para ello, en primer lugar se hace una breve reseña del clima y la vegetación actual del área de estudio, los materiales estudiados (turberas y depósitos de sedimentos marinos), los métodos de muestreo y las técnicas de laboratorio palinológico. En segundo lugar, se exponen los indicadores biológicos (polen, microfósiles fúngicos y microplancton de pared orgánica) utilizados en las reconstrucciones paleoambientales. Finalmente, se presenta la evolución paleoambiental sobre la base de las asociaciones palinológicas identificadas en los testigos de turberas ubicadas en el centro de la IGTF y en Bahía Franklin, en el sector suroeste de la Isla de los Estados, así como las asociaciones de palinomorfos marinos de depósitos sedimentarios ubicados en la costa norte del Canal Beagle.

El clima del último milenio se ha caracterizado por episodios multi-centenarios con anomalías de temperatura y humedad, como el Período Cálido Medieval (PCM) o Anomalía Climática Medieval (ACM) (800–1.100 años cal. AP, 1350–750 AD) y la Pequeña Edad de Hielo (PEH) (100–600 años cal. AP, 1850–1350 AD) (Moreno *et al*., 2014). Aunque existe cierta controversia sobre las características particulares de dichos episodios, es claro que las temperaturas en el PCM fueron más cálidas que durante la PEH, un período donde en general los glaciares se extendieron en las áreas montañosas del mundo. En este sentido, se discuten los cambios en las comunidades vegetales en relación con estos episodios climáticos, en particular, a partir del análisis de los registros polínicos ubicados en la Isla de los Estados.

CLIMA Y VEGETACIÓN ACTUAL

El clima templado frío de Tierra del Fuego está influenciado principalmente por los emplazamientos del Frente Polar del Pacífico Sur y la actividad del Anticiclón del Pacífico Sur. Los vientos dominantes proceden del oeste (*westerlies*), llegando con precipitaciones fuertes y frecuentes en la costa pacífica, y al continuar su curso hacia el este, más allá de la Cordillera de los Andes, pierden la mayor parte de su humedad y se transforman en vientos secos en el lado atlántico (Tuhkanen, 1992). Las precipitaciones muestran un marcado gradiente en dirección oeste-este, desde 2.000 mm en el extremo suroeste de la IGTF, disminuyendo en dirección nor-

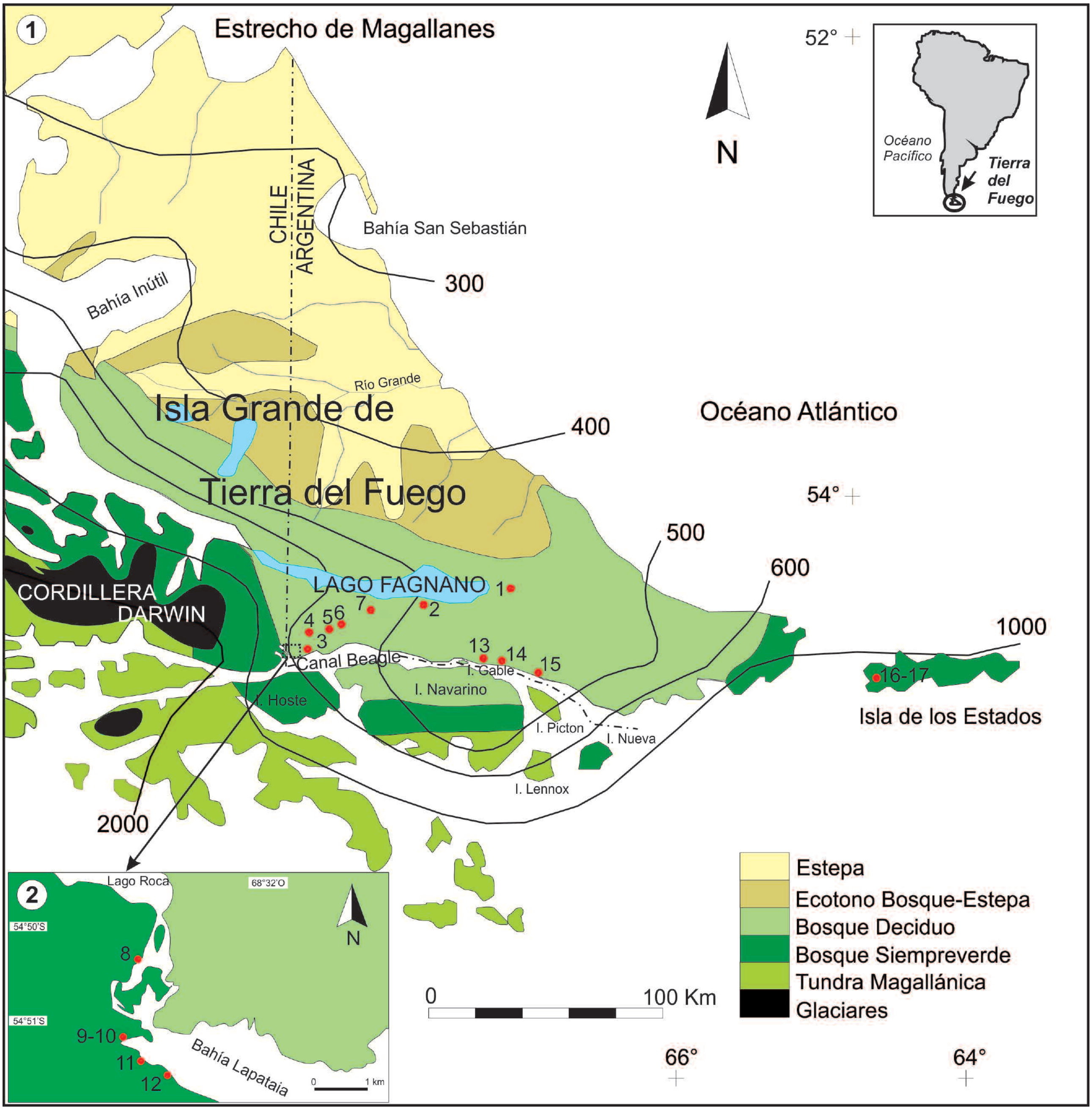


Figura 1. 1, Mapa de las principales unidades de vegetación actual de Tierra del Fuego, isohietas de precipitación media anual (mm) (modificado de Tuhkanen, 1992) y ubicación de los testigos de turberas y afloramientos mencionados en este trabajo (círculos rojos, ver Tabla 1). **2,** Detalle del Archipiélago Cormoranes y valle Lago Roca-Bahía Lapataia.

Tabla 1 – Registros palinológicos del Cuaternario tardío provenientes de testigos de turberas y afloramientos de Tierra del Fuego discutidos en este trabajo

Ubicación	*Sitios N.°*	*Sitios Nombre*	*Lat. sur*	*Long. oeste*	*Altitud (m s.n.m.)*	*Profundidad (cm)*	*Rango de edad (años cal. AP x 1.000)*	*Referencias*
Centro de Tierra del Fuego	*1*	*La Correntina*	*54° 33′*	*66° 59′*	*206*	*466*	*0 – 15.4*	*Musotto* et al. *(2016)*
	2	*Terra Australis*	*54° 36′*	*67° 46′*	*120*	*737*	*0 – 14.3*	*Musotto* et al. *(2017b)*
Valles andinos bajos	*3*	*Cañadón del Toro*	*54° 49′*	*68° 27′*	*90*	*678*	*0 – 13.5*	*Borromei* et al. *(2016)*
	4	*Valle de Andorra*	*54° 45′*	*68° 18′*	*180*	*690*	*0 – 10.5*	*Borromei (1995)* *Mauquoy* et al. *(2004)*
	5	*Valle de Carbajal*	*54° 44′*	*68° 12′*	*140*	*580*	*0 – ?Tardiglacial*	*Borromei* et al. *(2007)*
	6	*Ruta Nacional 3*	*54° 43′*	*68° 90′*	*270*	*afloramiento*	*12.0*	*Borromei* et al. *(2007)*
Valles andinos de altura	*7*	*Las Cotorras*	*54° 41′*	*68° 02′*	*420*	*480*	*0 – 8.0*	*Borromei* et al. *(2010)*
Canal Beagle	*8*	*Río Ovando*	*54° 51′*	*68° 35′*	*2.50*	*80*	*3.8 – 3.9*	*Candel* et al. *(2009)*
	9	*Bahía Lapataia 1*	*54° 50′*	*68° 34′*	*1.65*	*104*	*5.9 – 8.5*	*Borromei y Quattrocchio (2001)*
	10	*Bahía Lapataia 2*	*54° 50′*	*68° 34′*	*1.95*	*102*		*Borromei y Quattrocchio (2007)*
	11	*Aserradero-Lapataia2*	*54° 51′*	*68° 34′*	*0.50*	*afloramiento*	*8.4*	*Rabassa* et al. *(2009)* *Candel y Louwye (2015)*
	12	*Arroyo Baliza*	*54° 51′*	*68° 33′*	*-1.50*	*70 – 20*	*2.6 – 3.5*	*Candel* et al. *(2017)*
	13	*Albufera Lanushuaia*	*54° 52′*	*67° 60′*	*¿?*	*0,95*	*post bomb – 6.0*	*Candel* et al. *(2011)*
	14	*Río Varela*	*54° 52′*	*67° 11′*	*3.0*	*afloramiento*	*6.2 – 6.4*	*Grill* et al. *(2002)*
	15	*Punta Moat*	*54° 58′*	*66° 44′*	*40*	*450-100*	*5.0 – 11.2*	*Borromei* et al. *(2014)*
Isla de los Estados (Bahía Franklin)	*16*	*IDE-1*	*54° 50′*	*64° 38′*	*27*	*330*	*0 – 12.6*	*Ponce* et al. *(2011)*
	17	*IDE-2*	*54° 50′*	*64° 38′*	*240*	*75*	*0 – 4.0*	*Ponce* et al. *(2017)*

este hasta alcanzar valores menores de 300 mm a lo largo de la costa atlántica (Tuhkanen, 1992). Las mayores amplitudes térmicas estacionales se encuentran en el noreste de la IGTF, donde las temperaturas promedio oscilan entre 11 °C en enero y 0 °C en julio; en el sur, las temperaturas varían entre 8 °C y 4 °C, respectivamente (Heusser, 1989). El clima de la Isla de los Estados es frío y húmedo. Las precipitaciones medias anuales se aproximan a los 2.000 mm (J.F. Ponce, inf. inédita, 2009), pero probablemente existen precipitaciones mayores en elevaciones más altas. La temperatura media estival es de 8,3 °C, mientras que la temperatura media de invierno es 3,3 °C (Ponce *et al.*, 2017). Los vientos

son constantes y fuertes, predominando del noroeste y suroeste (Kühnemann, 1976).

En Tierra del Fuego, la distribución de las comunidades vegetales coincide, en términos generales, con los gradientes climáticos y topográficos (Fig. 1). La estepa se extiende en la porción norte de la IGTF y se caracteriza por la presencia de pastizales y arbustos con precipitaciones inferiores a los 400 mm anuales (Tuhkanen, 1992). El contacto de la estepa con el bosque deciduo se produce a través de un ecotono, con un promedio anual de precipitaciones de 350–500 mm (Tuhkanen, 1992). El Bosque Deciduo está caracterizado por la asociación de *Nothofagus pumilio* (Poepp. & Endl.) Krasser y *N. antarctica* (G. Forst.) Oerst. Ambas especies crecen hasta un promedio altitudinal de 550–600 m s.n.m. y son dominantes cuando la precipitación supera los 450 mm anuales. El Bosque Siempreverde se desarrolla cuando la precipitación es superior a los 700 mm anuales, el cual está dominado por *N. betuloides* (Mirb.) Oerst., acompañado por *Drimys winteri* J.R. Forst. & G. Forst., *Maytenus magellanica* (Lam.) Hook. f. y abundantes helechos y musgos (Moore, 1983; Heusser, 2003). La Tundra Magallánica (*magellanic moorland*) se extiende a lo largo de la costa oeste de Tierra del Fuego expuesta a los fuertes vientos, con precipitaciones anuales que superan los 1.500 mm. La Tundra Andina se desarrolla entre el límite altitudinal del bosque de *Nothofagus* y la línea de nieve (Moore, 1983; Heusser, 2003). Se observan cojines y matas de especies típicas de la zona alpina tales como *Bolax gummifera* (Lam.) Spreng., *Azorella lycopodioides* Gaudich., *Colobanthus subulatus* (d'Urv.) Hook. f. y *Drapetes muscosus* Lam. Los arbustos enanos como *Empetrum rubrum* Vahl ex Willd., *Gaultheria pumila* (L. f.) D.J. Middleton y *Myrteola nummularia* (Poir.) O. Berg también están presentes. En sectores abiertos con suelos minerales expuestos aparecen *Nassauvia latissima* Skottsb. y *N. pygmaea* (Cass.) Hook. f. En áreas húmedas, particularmente a lo largo de los cursos de agua alimentados por el derretimiento de nieve o glaciares en retroceso, se pueden encontrar praderas alpinas.

En la Isla de los Estados, situada al este de la IGTF, han sido reconocidas siete formaciones o asociaciones de vegetación en relación a la altitud y la geomorfología, las cuales son similares a las descriptas para la IGTF (Dudley y Crow, 1983). Las laderas bajas y valles están dominados por el Bosque Siempreverde de *N. betuloides* y *D. winteri* (Ponce *et al.*, 2011). En aquellos sitios expuestos a los fuertes y constantes vientos, la vegetación principal corresponde a la Formación del Páramo Magallánico, un mosaico de subunidades interdigitadas y superpuestas (asociación *E. rubrum*, asociación *Caltha* y asociación *Astelia pumila* (G. Forster) Gaudich. La Formación de las Praderas se extiende por los valles y sitios donde el crecimiento denso de los juncos da la apariencia de una pradera de pastos. La Formación del Monte se encuentra en las laderas expuestas a los fuertes vientos predominantes del oeste y suroeste, donde los árboles de *N. antarctica* y los arbustos crecen bajos y achaparrados. La Formación Alpina, ubicada generalmente alrededor de los 450 m s.n.m., presenta una cubierta vegetal escasa, y a menudo incluye formas tortuosas de *N. antarctica* y *E. rubrum*.

MATERIALES DE ESTUDIO

Turberas

Las turberas forman un grupo diverso de ecosistemas con capacidad de acumular materia orgánica muerta derivada de plantas adaptadas a vivir en condiciones de anegamiento constante, reducido contenido de oxígeno y escasa disponibilidad de nutrientes. Turba es la materia orgánica muerta en tales condiciones. Una turbera es un área donde la turba es producida y acumulada progresivamente, incrementando el espesor del depósito orgánico (Roig y Roig, 2004).

Más del 95% de la superficie ocupada por turberas en la Argentina se encuentra en la IGTF (Rabassa *et al.*, 1996). El clima templado-frío y oceánico de la región ofrece las condiciones necesarias para la preservación de las turberas desarrolladas durante los últimos 17.000 años como así también para la formación actual de las mismas (Coronato *et al.*, 2006). Estos ambientes son únicos por su naturaleza florística, hidrológica y ecológica y por ser ecosistemas razonablemente prístinos. Constituyen, desde el punto de vista paleoambiental, registros de información excepcionales para el extremo meridional de América del Sur (Rabassa, 2000).

Según las comunidades vegetales dominantes en superficie, se pueden distinguir tres tipos principales de turberas en Tierra del Fuego: las de ciperáceas del género *Carex*, las de musgos de *Sphagnum*, y las pulvinadas de *As-*

telia (Ponce *et al*., 2014). Los turbales de ciperáceas se desarrollan en el área situada entre el Lago Fagnano y el Río Grande donde las precipitaciones son inferiores a 400 mm anuales (Iturraspe, 2010; Loisel y Yu, 2013). Son ambientes con vegetación herbácea de alta densidad dominada por especies del género *Carex*, gramíneas y Bryales. Son comunes los montículos o *tussocks*, producto del permafrost estacional, en los que se ubican plantas que exigen suelos de mayor escurrimiento, como *Nothofagus antarctica*, *Acaena magellanica* (Lam.) Vahl y *Chiliotrichum diffusum* (G. Forst.) Kuntze. Estos turbales acumulan espesores de turba variable, constituyendo en muchas oportunidades turberas de gran profundidad (Roig, 2004).

Las turberas de *Sphagnum* se presentan en las zonas del Bosque Deciduo de *N. pumilio* y *N. antarctica* (Fig. 2.1) y en menor medida en las del Bosque Siempreverde de *N. betuloides* (Collantes y Faggi, 1999). *Sphagnum magellanicum* Brid. domina conjuntamente con una rica flora de otros musgos, líquenes, hepáticas y plantas superiores (Roig, 2004). Las especies más frecuentemente asociadas son *Empetrum rubrum*, *Carex magellanica* Lam., *Oreobolus obtusangulus* Gaudich., *Tetroncium magellanicum* Willd., *Rostkovia magellanica* (Lam.) Hook. f. y *Marsippospermum grandiflorum* (L. f.) Hook. f. Actualmente, estas turberas ombrotróficas están situadas entre las isohietas de 450 y 600 mm de precipitación anual (Roig y Roig, 2004).

Las turberas duras de *Astelia* forman comunidades muy densas y compactas con alta retención del agua de lluvia (Roig, 1998). La especie dominante es *A. pumila*, con túmulos poco prominentes y amplios. La acompaña *Donatia fascicularis* J.R. Forst. y G. Forst., que se mezcla con la anterior en una proporción varias veces menor. También están presentes *E. rubrum* y *Caltha dioneifolia* Hook. f. Algunos árboles se instalan en ellas, *N. betuloides* y *Drimys winteri*, pero alcanzan un pobre desarrollo. La profundidad de la acumulación de turba es superior al metro. Este tipo de turbera se encuentra en el extremo oriental de Tierra del Fuego. No existen registros climáticos para esta región; sin embargo, el desarrollo de las comunidades del Bosque Siempreverde sugiere precipitaciones anuales superiores a 700 mm (Tuhkanen, 1992).

En la Isla de los Estados se desarrollan extensos turbales, pudiéndose distinguir tres tipos de turberas, a saber: 1- Turberas de tipo graminoso, con ciperáceas, juncáceas y otras especies asociadas como *A. pumila*, *Drosera uniflora* Willd., murtilla, líquenes y helechos (J.F. Ponce, inf. inédita, 2009); 2- Turberas dominadas por *Sphagnum*, que forma montículos acompañado por ciperáceas, juncáceas y droseráceas (*D. uniflora*). Presentan características similares a los depósitos de turba ombrotrófica que predominan en Tierra del Fuego (Kühnemann, 1976); 3- Turberas dominadas por *A. pumila*, con *Caltha appendiculata* Pers. y *C. dioneifolia. M. grandiflorum* y *E. rubrum* aparecen como elementos secundarios. Este tipo de turbal se observa en el sector sureste de Tierra del Fuego (Correa, 1998).

Depósitos de sedimentos marinos

La costa norte del Canal Beagle está caracterizada por depósitos marinos discontinuos, mayormente de arenas y gravas, originados durante la transgresión marina del Holoceno. Debido a las características topográficas de la región, estos depósitos no se extienden lateralmente y comprenden escasos metros, excepto en el sector occidental donde la presencia del Lago Roca y el Archipiélago Cormoranes habría permitido la entrada del mar al menos 4 km hacia el interior del continente (Gordillo, 1993). Entre Bahía Lapataia e Isla Gable se han reconocido tres niveles de playas del Holoceno ubicados a 8–10, 4–6 y 1,5–3 m s.n.m, respectivamente (Gordillo *et al*., 1992; Gordillo, 1993; Rabassa *et al*., 2000, 2009). Hacia el este del canal, en la zona de Río Varela, los depósitos marinos se encuentran sumergidos bajo la línea de mareas o sepultados por secuencias fluviales en las cercanías de las desembocaduras de los ríos (Grill *et al*., 2002; Rabassa *et al*., 2004). Estos depósitos marinos están compuestos básicamente por arenas gruesas que alternan con estratos de rodados. Sedimentos finos, de tipo arcilloso, solo se encuentran en pequeñas áreas dentro del sector occidental del Canal Beagle (Gordillo, 1993). El control depositacional de este sistema marino fue atribuido en parte a factores glacioeustáticos y en parte a movimientos neotectónicos (Rabassa *et al*., 1992; Bujalesky *et al*., 2004).

Un punto importante a tener en cuenta cuando se trabaja con sedimentos marinos fósiles es el efecto reservorio, o envejecimiento aparente, el cual se refiere a un error sistemático originado cuando el reservorio de carbono en

los sedimentos o conchillas, en contacto con masas de aguas de diferentes edades, difiere del atmosférico. El reservorio puede tener una edad aparente de cientos o miles de años más viejo respecto del carbono atmosférico contemporáneo (Figini, 1993). En consecuencia, las edades de estos depósitos fueron calibradas utilizando el programa



Figura 2. 1, Vista general de la turbera Terra Australis. **2,** Muestreo de la turbera Cañadón del Toro con muestreador tipo ruso. **3,** Detalle del tramo basal del testigo de turba con sedimento arcilloso, localidad Terra Australis. **4,** Detalle de un tramo del testigo de turba de *Sphagnum*, localidad Terra Australis. **5,** Vista general del sitio Aserradero-Lapataia 2, Archipiélago Cormoranes, Canal Beagle. **6,** Muestreo realizado con cucharín en el sitio Aserradero-Lapataia 2. En las secuencias marinas el intervalo de muestreo es cada 2 cm.

Calib 7.1 (Stuiver *et al.*, 2015) y la curva Marine13 (Reimer *et al.*, 2013), teniendo en cuenta la corrección por el efecto reservorio en el área del Canal Beagle, el cual es de 221 ± 40 años (Gordillo *et al.*, 2015).

MUESTREO Y TÉCNICAS DE LABORATORIO

Previo a la obtención del testigo sedimentario de una turbera, se realizan perforaciones en la zona central de la misma con una distancia de *ca.* 30 a 40 m, para determinar el sector de máxima profundidad y así obtener el registro más antiguo. La sección fósil se extrae con una sonda tipo rusa, con sacatestigo de 5 cm de diámetro y tramos acoplables de 50 cm cada uno (Fig. 2.2–4). En una primera etapa, los tramos obtenidos son fotografiados y descriptos estratigráficamente de manera detallada. Luego, son colocados en medias cañas de tubos de PVC y envueltos en bolsas plásticas para su posterior traslado. Finalmente, los tramos son almacenados y conservados en heladera o en cámara fría hasta ser submuestreados en el laboratorio.

En cuanto a los sedimentos marinos, la existencia potencial de los mismos puede ser inferida a partir de la correlación entre los datos altimétricos de los depósitos sedimentarios y la cota máxima alcanzada por el nivel del mar durante la transgresión del Holoceno. La elección de los sitios de muestreo de dichos depósitos dependerá de las características sedimentológicas propias que sugieran una posible influencia marina, tales como presencia de moluscos y de sedimentos pelíticos oscuros, estos últimos indicadores de condiciones reductoras propias de ambientes acuáticos (Fig. 2.5–6).

Para la selección de las técnicas de procesamiento palinológico a emplear, se tienen en cuenta los siguientes aspectos: el grado de resolución del muestreo, el método elegido para calcular la concentración polínica, la aplicación de tratamientos químicos apropiados para la preservación de los palinomorfos, el tipo de minerales a eliminar y los indicadores biológicos a estudiar, entre otros (Chambers *et al.*, 2011). En la Figura 3 se ilustra un diagrama de flujo con los

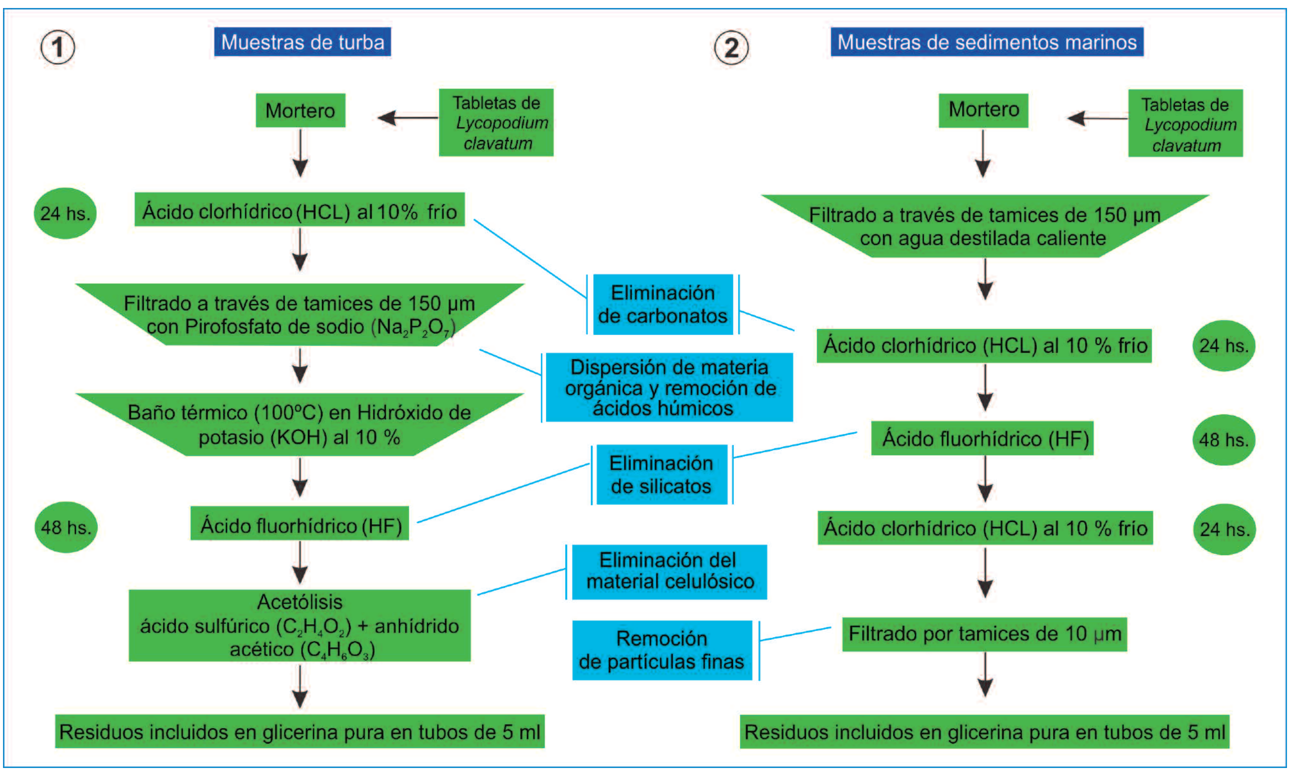


Figura 3. Diagrama de flujo con las técnicas de procesamiento palinológico empleadas en el Laboratorio de Palinología (INGEOSUR-CONICET, UNS): **1,** para muestras fósiles de turba; **2,** para muestras de sedimentos marinos.

pasos que se siguen habitualmente durante el procesamiento de las muestras fósiles de turba y de sedimentos marinos en el Laboratorio de Palinología del Instituto Geológico del Sur (INGEOSUR-CONICET, UNS).

PRINCIPALES INDICADORES BIOLÓGICOS UTILIZADOS PARA LA RECONSTRUCCIÓN PALEOAMBIENTAL

Polen

Las turberas son consideradas depósitos óptimos para los estudios palinológicos, dado que el polen suele preservarse mejor en medio anaerobio y ácido. Los musgos formadores de turba del género *Sphagnum* liberan protones (H^+), creando un ambiente ácido (pH<5) que inhibe los procesos de descomposición (Paredes, 2015). Por otro lado, la compactación de *Sphagnum* en los niveles inferiores restringe el movimiento descendente del polen, de manera que no se considera importante en la escala de tiempo involucrada en los estudios palinológicos (Birks y Birks, 1980).

Una de las dificultades para el análisis polínico radica en la imposibilidad de determinar ciertos taxones por debajo del nivel de género o familia. Por ejemplo, cuando se hace referencia al polen de *Nothofagus* tipo *dombeyi*, se están considerando tres especies, las cuales se desarrollan al sur de los 50° S y cuyos granos de polen comparten características morfológicas: *N. antarctica*, *N. pumilio* y *N. betuloides* (Heusser, 1971). Algunos autores han intentado diferenciar estas especies aplicando distintas técnicas. Auer *et al.* (1955) emplearon el engrosamiento anular, la distribución de espinas, y el tamaño de los granos; mientras que Markgraf y D'Antoni (1978) el número de espinas por unidad de área. Fontana y Bennett (2012) calcularon el número promedio de aperturas de acuerdo con von Post (1929). Recientemente, Fernández *et al.* (2016) han demostrado que los rasgos morfológicos no permiten diferenciar estas especies de *Nothofagus*. Esos y otros estudios (Auer, 1974; Markgraf, 1980, 1983) sugieren que los primeros árboles que habrían colonizado los terrenos deglaciados en Tierra del Fuego corresponderían a *N. antarctica*. Consideraciones similares fueron realizadas por Fesq-Martin *et al.* (2004) por analogía con los requerimientos ecológicos de *N. antarctica* en áreas recientemente deglazadas. Esta especie tiene un amplio rango de tolerancia a la variación de las condiciones hídricas y térmicas, y es común observarla en aquellos sitios menos favorables para el desarrollo de las otras especies arbóreas (Pisano, 1977; Donoso, 1993). Por otra parte, ciertos taxones que se asocian directamente con *Nothofagus* son de utilidad para la interpretación de los registros polínicos, tal es el caso de *Misodendrum* y *D. winteri*. *Misodendrum* es una planta hemiparásita que infecta específicamente a las especies de *Nothofagus* (Tercero-Bucardo y Kitzberger, 2004). La intensidad de infección depende de la luz y de la disponibilidad de huéspedes, siendo mínima con bajas densidades de *Nothofagus*, máxima en niveles intermedios (parque, bosque discontinuo) y declinando en los bosques cerrados (Simi *et al.*, 2017). El registro de *Misodendrum* indica la presencia local de las comunidades boscosas (Markgraf, 1983; Musotto *et al.*, 2016). En Bahía Franklin (Isla de los Estados), el desarrollo del Bosque Siempreverde fue inferido a partir del incremento en la abundancia de polen de *Nothofagus* (posiblemente *N. betuloides*), y del registro de *D. winteri* (Ponce, 2009; Ponce *et al.*, 2011, 2017). Ambos taxones son típicos de las comunidades actuales de este bosque (Moore, 1983).

Una de las metodologías para la reconstrucción de las comunidades involucra la caracterización de los distintos tipos de vegetación por medio de los espectros polínicos contemporáneos (usualmente de muestras de superficie) y su comparación con los espectros fósiles (Birks y Birks, 1980). En Tierra del Fuego hay escasos estudios centrados en el contenido polínico de muestras de superficie (Heusser, 1989; Trivi de Mandri *et al.*, 2006; Ponce *et al.*, 2011; Musotto *et al.*, 2012). En este sentido, la relación existente entre la vegetación y el polen es compleja, y esto podría derivarse de los fenómenos de convergencia (*i.e.*, asociaciones polínicas similares derivadas de diferente vegetación) o divergencia (*i.e.*, diferentes asociaciones polínicas resultantes de una única comunidad vegetal) (Iglesias *et al.*, 2017). Un ejemplo de convergencia lo constituiría la vegetación desarrollada durante el Tardiglacial en las tierras bajas a lo largo del Canal Beagle. En general, los espectros polínicos muestran comunidades vegetales postglaciales caracterizadas por arbustos, brezales, hierbas y especies palustres con escasos árboles de *Nothofagus*, las cuales por analogía son afines tanto a la estepa como a la Tundra Andina. Por tal

motivo, Heusser (2003) interpretó dicha vegetación regional como una estepa-tundra indiferenciada.

Microfósiles fúngicos

Los microfósiles fúngicos brindan información útil sobre el contenido de humedad del suelo y las condiciones del sustrato –como plantas huéspedes específicas o tipo de materia orgánica en descomposición– de modo que su estudio constituye un complemento valioso para la interpretación de los ambientes depositacionales (Cugny *et al.*, 2010). El material fúngico comprende restos de micelio, esporas, hifopodios, cuerpos reproductivos o fragmentos de ellos. Sin embargo, dada la naturaleza de esas estructuras, solo algunos grupos taxonómicos son hallados en el registro fósil y el grado de preservación depende principalmente de las características de las paredes celulares. Por ejemplo, aquellas esporas que poseen pared gruesa y/o melanizada se conservan en buenas condiciones, mientras que la mayoría de las esporas pequeñas, de paredes delgadas y hialinas, documentadas en los análisis aeromicológicos, raramente se fosilizan (van Geel, 2001). Varios estudios sobre microfósiles fúngicos señalan que las esporas registradas en un ambiente son, en su mayoría, de ocurrencia estrictamente local, que se fosilizan cerca de su lugar de origen o bien se depositan a corta distancia del sitio de esporulación (van Geel y Aptroot, 2006). En el centro-sur de la IGTF , las contribuciones relativas a los registros fúngicos en turberas del Pleistoceno tardío–Holoceno se han incrementado en la última década (Mauquoy *et al.*, 2004; Borromei *et al.*, 2010; Musotto, 2013; Musotto *et al.*, 2013, 2017a,b). Además, Musotto *et al.* (2012) estudiaron los restos fúngicos en muestras de superficie con el fin de obtener análogos actuales. Los registros fúngicos mencionados en esos trabajos comprenden representantes de los Phyla Ascomycota, Basidiomycota y Glomeromycota. En la Tabla 2 se presenta la ubicación taxonómica de los restos fúngicos reconocidos en las secuencias fósiles de La Correntina, Terra Australis, Valle de Andorra y Las Cotorras (sitios 1, 2, 4, y 7, respectivamente, Fig. 1.1). En la Figura 4 se ilustran los principales microfósiles fúngicos identificados hasta el presente.

Microplancton de pared orgánica

El estudio del microplancton de pared orgánica, principalmente quistes de dinoflagelados, constituye una herramienta de gran utilidad para el análisis de los registros estratigráficos de alta resolución provenientes de áreas marinas. Numerosos trabajos han demostrado la existencia de una estrecha relación entre las asociaciones de quistes de dinoflagelados (o dinoquistes) y las condiciones del agua de mar como temperatura, salinidad, disponibilidad de nutrientes, productividad primaria y profundidad de las masas de agua, estacionalidad y extensión de la cubierta de hielo marino (de Vernal *et al.*, 2001, 2005; Radi y de Vernal, 2008). Por lo tanto, las variaciones en su registro son interpretadas en función de los cambios oceanográficos y atmosféricos.

En la IGTF, los sedimentos marinos del Holoceno aflorantes a lo largo de la costa norte del Canal Beagle se caracterizan por asociaciones de palinomorfos acuáticos dominadas por especies de dinoquistes del Orden Peridiniales junto a otras algas, acritarcos, revestimientos de foraminíferos y huevos de copépodos, los cuales sugieren el desarrollo de ambientes estuarinos con salinidad baja a moderada probablemente debido a la descarga de agua de fusión glacial. Cabe mencionar que los dinoquistes identificados representan las primeras menciones para las altas latitudes de la Argentina. En la Tabla 3 se presenta la lista taxonómica de los palinomorfos acuáticos reconocidos en las secuencias fósiles de Bahía Lapataia, Aserradero-Lapataia 2, Río Varela, Albufera Lanushuaia, Río Ovando y Arroyo Baliza (sitios 9, 10, 11, 14, 13, 8 y 12, respectivamente, Fig. 1). En la Figura 5 se ilustran los principales taxones fósiles identificados. Asimismo, el estudio de sedimentos superficiales de fondo de canal permitió caracterizar los sectores oeste, central y este del Canal Beagle. El sector occidental se corresponde con un ambiente de transición salobre-marino con un gran aporte de agua dulce y de nutrientes a través de los ríos de acuerdo con los altos porcentajes de *Halodinium* sp., palinomorfo de agua salobre utilizado como trazador de descarga fluvial y directamente relacionado con precipitaciones dentro de la cuenca fluvial (Durantou *et al.*, 2012). Este sector tiene un gran número de arroyos de agua dulce provenientes de los glaciares de circo ubicados en los valles andinos altos (Isla *et al.*, 1999). El sector central pre-

TABLA 2 – Listado de microfósiles fúngicos identificados en las turberas de la IGTF estudiadas: La Correntina (Musotto *et al.*, 2013, 2017a); Terra Australis (Musotto *et al.*, 2017a,b); Valle de Andorra (Mauquoy *et al.*, 2004); Las Cotorras (Borromei *et al.*, 2010). Para los tipos fúngicos indicados como 'HdV-xxx' (HdV = Hugo de Vries- Laboratory, University of Amsterdam, The Netherlands) ver Miola (2012)

Localidades	*La Correntina*	*Terra Australis*	*Valle de Andorra*	*Las Cotorras*
Edad años cal. AP	*15.400*	*14.300*	*10.500*	*8000*
Microfósiles fúngicos				
División ASCOMYCOTA Cavalier-Smith 1998				
Anthostomella *cf.* **fuegiana** *Spegazzini 1887 (Tipo HdV-4)*	*X*			*X*
Byssothecium circinans *Fuckel 1861 (Tipo HdV-16)*		*X*		*X*
Chaetomium *sp. (Tipo HdV-7A)*				*X*
Clasterosporium caricinum *(Tipo HdV-126)*				*X*
Gaeumannomyces *sp. (Tipo HdV-126)*	*X*	*X*	*X*	
Gelasinospora *sp. (Tipo HdV-1)*	*X*	*X*		
*Ascoma indet. 2 (*fide *Musotto* et al., *2013)*	*X*			
Microthyrium *sp. (Tipo HdV-8B)*				*X*
cf. **Microthyrium fagi** *Ellis 1977*		*X*		
Pleospora *sp. (Tipo HdV-3B)*				*X*
*Tipo-***Sordaria** *(*fide *van Geel* et al., *2003) (Tipo HdV-55A)*	*X*	*X*		*X*
*Tipo-***Sporormiella** *(*fide *van Geel* et al., *2003) (Tipo HdV-113)*	*X*	*X*		*X*
cf. **Ustulina deusta** ***(*=Kretzschmaria deusta*)*** *(Tipo HdV-44)*				*X*
*cf. Xylariaceae/Sordariaceae/Coniochaetaceae (*fide *Gelorini* et al., *2011)*	*X*			
cf. **Byssothecium alpestre** *(Tóth) Boise 1989 (*fide *Mauquoy* et al., *2004) (Tipo HdV-810)*	*X*	*X*	*X*	*X*
División BASIDIOMYCOTA R.T. Moore 1980				
Tipo-Uredinales	*X*	*X*		
División GLOMEROMYCOTA C. Walker y A. Schüßler 2001				
Glomus *sp. (Tipo HdV-1103)*	*X*	*X*		
Glomus *cf.* **fasciculatum** *(Tipo HdV-207)*				*X*
Hongos mitospóricos				
Alternaria *sp.*	*X*	*X*		
Arthrinium puccinioides *Kunke y Schmidt 1823*		*X*		
cf. **Dictyosporium** *sp.*		*X*		
Spegazzinia tessarthra *Berkeley y M.A. Curtis 1886 (Tipo HdV-1018A-B)*		*X*		
cf. **Sporidesmium** *sp.*	*X*			
*Fragmento de conidio helicospórico indet. 1 (*fide *Musotto* et al., *2017b)*		*X*		
*Tipo 364 (*fide *Hooghiemstra, 1984)*		*X*		
Incertae sedis				
Tipo HdV-5			*X*	*X*
Tipo HdV-7B			*X*	*X*
Tipo HdV-123				*X*
Tipo HdV-263	*X*			
Tipo HdV-411				*X*
Tipos HdV-811-812-813-814				*X*
*Tipo 370 (*fide *Hooghiemstra, 1984)*	*X*	*X*		

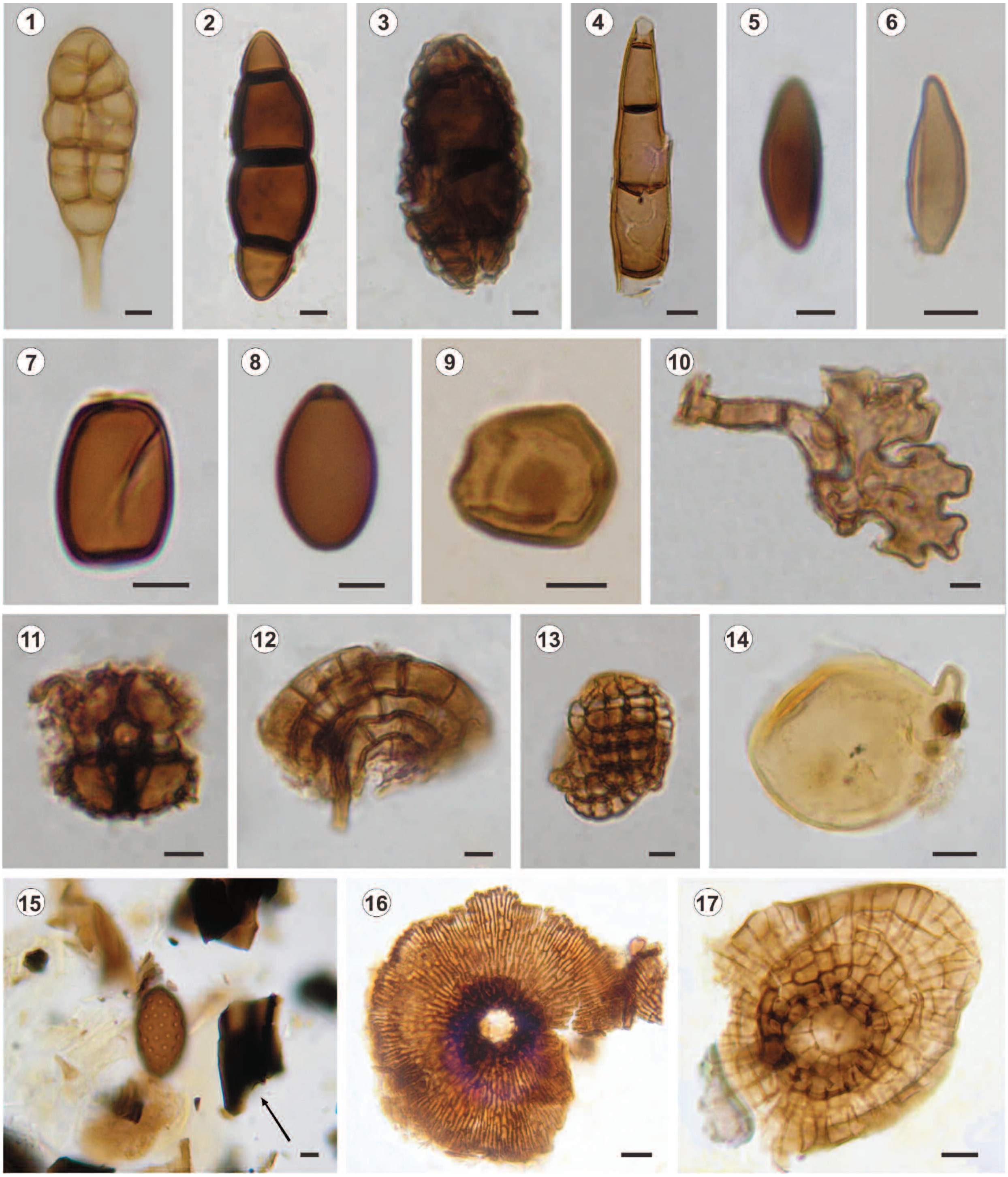


Figura 4. Principales microfósiles fúngicos registrados en las turberas La Correntina y Terra Australis. Escala= 5 µm, excepto en Figuras 4, 14, 16 y 17= 10 µm. Número de muestra seguido por coordenadas *England Finder*. **1,** ***Alternaria*** sp., **UNSP TLC 3547: S27** (Musotto *et al.*, 2013); **2,** Tipo 810 cf. ***Byssothecium alpestre*** (*fide* Mauquoy *et al.*, 2004) **UNSP TA 3795: Y27/1** (Musotto *et al.*, 2017b); **3,** ***Byssothecium circinans*****, UNSP TA 4079: Y37** (Musotto *et al.*, 2017b); **4,** cf. ***Sporidesmium*** sp., **UNSP TLC 3371: M29/2** (Musotto *et al.*, 2013); **5,** cf. **Xylariaceae/Sordariaceae/Coniochaetaceae** (*fide* Gelorini *et al.*, 2011), **UNSP TLC 3547: J44** (Musotto *et al.*, 2013); **6,** ***Anthostomella*** cf. ***fuegiana*****, UNSP TLC 3524: Y27/1** (Musotto *et al.*, 2013); **7,** Tipo-***Sporormiella*****, UNSP TLC 3238: X42** (Musotto *et al.*, 2013); **8,** Tipo-***Sordaria*****, UNSP TLC 3522: Y46/1** (Musotto *et al.*, 2013); **9,** ***Arthrinium puccinioides*****, UNSP TA 4000: U38/4** (Musotto *et al.*, 2017b); **10,** Hifopodio de ***Gaeumannomyces*** sp.**, UNSP TA 3737: O3** (Musotto *et al.*, 2017a); **11,** ***Spegazzinia tessarthra*****, UNSP TA 3698: B44/4** (Musotto *et al.*, 2017b); **12,** Fragmento de conidio helicospórico indet. 1, **UNSP TA 3826: U45** (fide Musotto *et al.*, 2017b); **13,** cf. ***Dictyosporium*** sp., **UNS TA 3700: G12**; **14,** ***Glomus*** sp., **UNSP TLC 3300: L36** (Musotto *et al.*, 2013); **15,** ***Gelasinospora*** sp., **UNSP TLC 3301: X43/1,** la flecha indica un fitoclasto oxidado (Musotto *et al.*, 2013); **16,** cf. ***Microthyrium fagi*****, UNSP TA 3958: X46** (Musotto *et al.*, 2017b); **17,** Ascoma indet. 2, **UNSP TLC 3241: F29/2** (fide Musotto *et al.*, 2013).

Tabla 3 – Listado de dinoquistes y otros palinomorfos acuáticos identificados en las localidades marinas estudiadas (modificado de Candel y Borromei, 2013). Abreviaturas: BL, Bahía Lapataia (Borromei y Quattrocchio, 2007); AS, Aserradero-Lapataia 2 (Candel y Louwye, 2015); RV, Río Varela (Grill *et al.*, 2002); AL, Albufera Lanushuaia (Candel *et al.*, 2011); RO, Río Ovando (Candel *et al.*, 2009); AB, Arroyo Baliza (Candel *et al.*, 2017). Para los tipos indicados como 'HdV-xxx' (HdV = Hugo de Vries- Laboratory, University of Amsterdam, The Netherlands) ver Miola (2012)

Localidades	*BL*	*AS*	*RV*	*AL*	*RO*	*AB*
Edad años cal. AP	*8.500–5.900*	*8.400*	*6.400–6.200*	*6.000–post bomb*	*3.900–3.800*	*3.500–2.600*
Dinoquistes						
Peridiniales						
Brigantedinium cariacoense *(Wall 1967) Lentin y Williams 1993*		*x*				*x*
Brigantedinium simplex *Wall 1965 ex Lentin y Williams 1993*		*x*			*x*	*x*
Brigantedinium *spp.*	*x*	*x*	*x*	*x*	*x*	*x*
Dubridinium caperatum *Reid 1977*		*x*				*x*
Dubridinium *cf.* ***D.*** *sp.*		*x*		*x*		*x*
Echinidinium delicatum *Zonneveld 1997*		*x*				*x*
Echinidinium *cf.* **E. delicatum** *Zonneveld 1997*					*x*	
Echinidinium granulatum *Zonneveld 1997*		*x*		*x*	*x*	*x*
Echinidinium *cf.* **E. granulatum** *Zonneveld 1997*					*x*	*x*
Echinidinium *spp.*		*x*		*x*	*x*	*x*
Islandinium cezare *(de Vernal* et al., *1989 ex de Vernal en Rochon* et al. *1999) Head* et al. *2001*						*x*
Islandinium minutum *(Harland y Reid en Harland* et al., *1980) Head* et al., *2001*		*x*		*x*	*x*	*x*
Islandinium *cf.* **I. minutum** *(Harland y Reid en Harland* et al., *1980) Head* et al., *2001*		*x*				
Pentapharsodinium *cf.* **P. dalei** *Indelicato y Loeblich III 1986*					*x*	*x*
Quinquecuspis concreta *(Reid 1977) Harland 1977*		*x*				*x*
Quinquecuspis *sp.*		*x*				*x*
Selenopemphix nephroides *(Benedek 1972) Benedek y Sarjeant 1981*	*x*	*x*	*x*	*x*	*x*	*x*
Selenopemphix quanta *(Bradford 1975) Matsuoka 1985*		*x*		*x*	*x*	*x*
Selenopemphix *cf.* **S. quanta** *(Bradford 1975) Matsuoka 1985*		*x*		*x*		*x*
Selenopemphix *sp.*		*x*			*x*	*x*
Trinovantedinium applanatum *(Bradford 1977) Bujak y Davies 1983*		*x*				*x*
Votadinium calvum *Reid 1977*		*x*				*x*
Votadinium spinosum *Reid 1977*		*x*		*x*		*x*
Votadinium *sp.*		*x*				*x*
Gonyaulacales						
Operculodinium centrocarpum *Deflandre y Cookson 1955* sensu *Wall 1967*	*x*		*x*			*x*
Operculodinium *cf.* **O. centrocarpum** *Deflandre y Cookson 1955* sensu *Wall 1967*					*x*	
Spiniferites lazus *Reid 1974*		*x*				
Spiniferites ramosus *(Ehrenberg 1838) Mantell 1854* sensu lato						*x*
Spiniferites *sp.*	*x*		*x*			
Spiniferites *spp.*					*x*	*x*
Gymnodiniales						
Polykrikos kofoidii *Chatton 1914*		*x*		*x*	*x*	*x*
Polykrikos schwartzii *Bütschli 1873*		*x*		*x*	*x*	*x*

TABLA 3 - Continuación

Localidades	*BL*	*AS*	*RV*	*AL*	*RO*	*AB*
Edad años cal. AP	*8.500–5.900*	*8.400*	*6.400–6.200*	*6.000–post bomb*	*3.900–3.800*	*3.500–2.600*
Acritarcos						
Acritarco sp. 1 (fide Candel et al., *2011)*				x		
Halodinium *sp.*	x	x	x	x	x	x
Michrystridium *sp.*			x		x	x
Palaeostomocystis fritilla *(Bujak 1984) Roncaglia 2004*		x				x
Palaeostomocystis subtilitheca *Roncaglia 2004*		x				x
Palaeostomocystis *sp. 1*						x
Sigmopollis *sp.*					x	
Radiosperma corbiferum *Meunier 1910*		x				x
Otras algas						
Botryococcus braunii *Kützing 1849*	x	x	x		x	x
Cymatiosphaera *sp.*		x			x	x
Debarya *sp.*		x				
Spirogyra *sp.*		x		x	x	x
Tasmanites *sp.*		x		x		x
Tipo HdV-128		x				
Tipo HdV-150		x				
Tipo HdV-181		x				
Zygnema *sp.*	x	x		x	x	x
Zoomorfos						
Huevos de copépodos	x	x	x	x	x	x
Foraminíferos	x	x	x	x	x	x

senta una alta participación de palinomorfos acuáticos, siendo los quistes de dinoflagelados los mejor representados con una alta abundancia y diversidad de especies, principalmente Peridiniales, acompañados por *Halodinium* sp., *Radiosperma corbiferum*, *Polyasterias* sp., *Botryococcus braunii* y *Botryococcus* sp., y por una mayor participación de foraminíferos, sugiriendo un ambiente marino-transicional con aguas ricas en nutrientes y salinidades variables debido a un alto aporte de agua dulce por los ríos aledaños (Candel, 2010; Candel *et al.*, 2012). El sector oriental del canal se corresponde con ambientes marinos con influencia de las aguas del Océano Atlántico. Allí se registraron altos porcentajes del género *Spiniferites* y abundantes revestimientos de foraminíferos, sugiriendo ambientes marinos o marino-salobres de plataforma (Tyson, 1995). En general, las asociaciones actuales de microplancton están dominadas por Protoperidiniales, las cuales se vinculan con ambientes estuarinos afectados por la descarga de agua de escorrentía superficial resultando en una baja salinidad de las aguas superficiales del mar. Las asociaciones de palinomorfos acuáticos y condiciones ambientales actuales serían similares a las registradas durante el Holoceno Medio–Tardío (Candel, 2010; Candel *et al.*, 2012, 2013).

RECONSTRUCCIÓN PALEOAMBIENTAL PARA EL ARCHIPIÉLAGO DE TIERRA DEL FUEGO: TRES CASOS DE ESTUDIO

Turberas La Correntina y Terra Australis

Los análisis polínicos y de microfósiles fúngicos de las muestras provenientes de las turberas Terra Australis y La

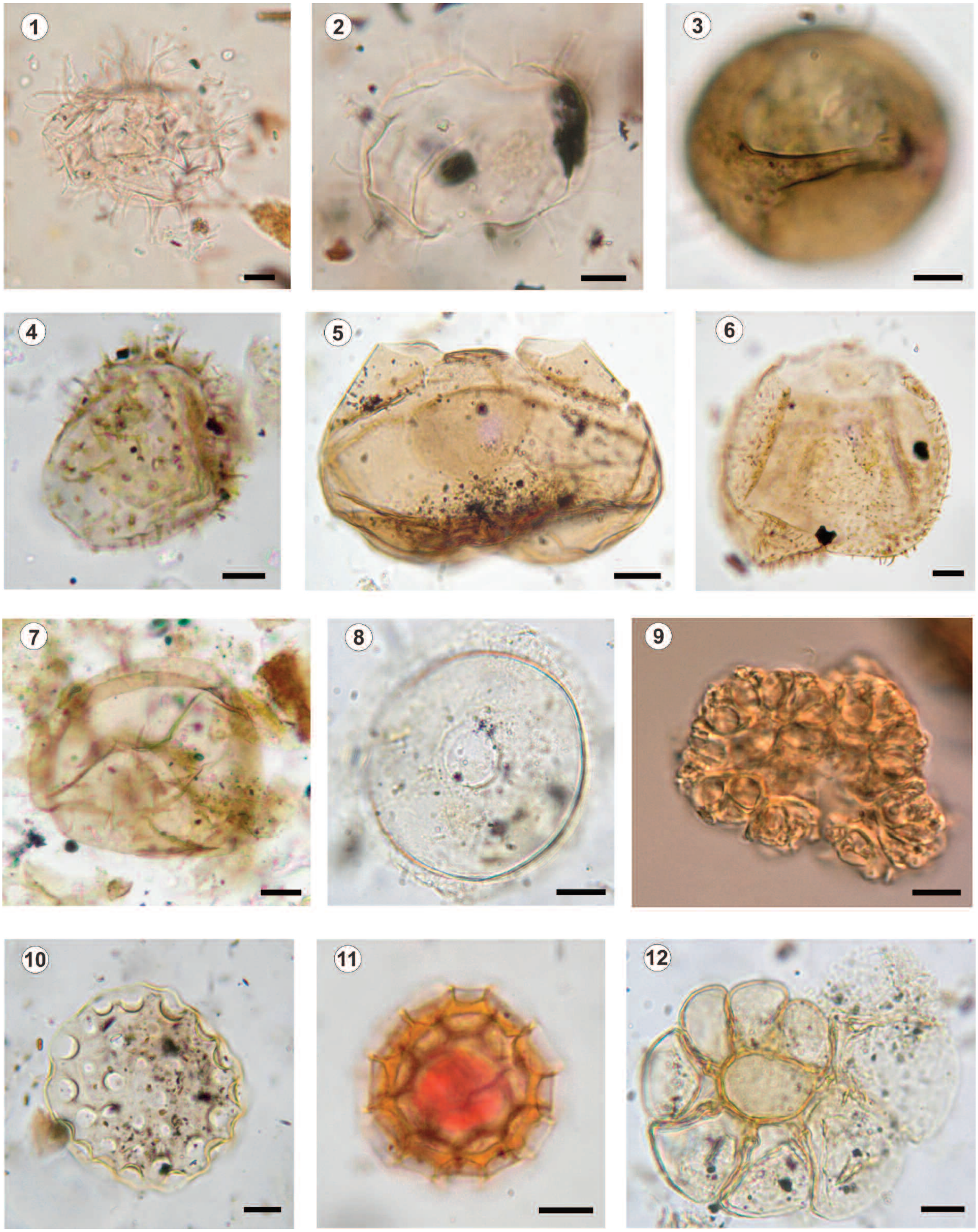


Figura 5. Principales palinomorfos acuáticos registrados en los sedimentos marinos fósiles localizados en la costa norte del Canal Beagle. Escala= 10 µm. Número de muestra seguido por coordenadas *England Finder*. **1,** ***Spiniferites*** sp., **UNSP BL843a-K53** (Candel y Borromei, 2013); **2,** ***Operculodinium centrocarpum*****, UNSP RV1532a-F23/3** (Candel y Borromei, 2013); **3,** ***Brigantedinium simplex*****, UNSP AS3053-P46/2** (Rabassa *et al.*, 2009); **4,** ***Islandinum minutum*****, UNSP AL2587-R44** (Candel y Borromei, 2013); **5,** ***Votadinium calvum*****, UNSP AB3055-G39/3** (Rabassa *et al.*, 2009); **6,** ***Votadinium spinosum*****, UNSP AL2638-Q47/4** (Candel y Borromei, 2013); **7,** ***Selenopemphix nephroides*****, UNSP AL2588-N18** (Candel *et al.*, 2011); **8,** ***Halodinium*** sp., **UNSP AB3055-M38/4** (Rabassa *et al.*, 2009); **9,** ***Botryococcus braunni*****, UNSP AB14-M36/1** (Candel *et al.*, 2017); **10,** ***Zygnema*** sp., **UNSP RO2097-U57/1** (Candel y Borromei, 2013); **11,** ***Cymatiosphaera*** sp., **UNSP RO2100-Y44/3** (Candel y Borromei, 2013); **12,** Revestimiento de foraminífero, **UNSP AS3053-C18/4** (Rabassa *et al.*, 2009).

Correntina, ubicadas en las vertientes pacífica y atlántica de la Cordillera de los Andes, respectivamente (sitios 1 y 2, Fig. 1.1), permitieron la reconstrucción paleoambiental para el sector central de la IGTF (Figs. 6, 7). En términos generales, los dos sitios muestran durante el Tardiglacial una vegetación dominada por arbustos (Asteraceae subf. Asteroideae, *Empetrum rubrum*), gramíneas (Poaceae) y hierbas (*Acaena*, Caryophyllaceae), análoga a las comunidades de la estepa que se desarrollan actualmente en el norte de la IGTF, dada la ausencia de los taxones típicos de la Tundra Andina (*e.g.*, *Bolax gummifera*, *Azorella lycopodioides*, *Drapetes muscosus* y *Myrteola nummularia*) (Musotto *et al.*, 2016). Las condiciones climáticas áridas y frías indican un desplazamiento del margen sur del cinturón de los vientos del oeste hacia el Ecuador, y/o debilitamiento como se ha sugerido a partir de estudios de modelado climático (Rojas *et al.*, 2009; Markgraf y Huber, 2010). La transición hacia el Holoceno se caracterizó por variaciones de temperatura y precipitaciones, probablemente bajo la influencia de cambios en la extensión del hielo marino y en la posición del Frente Subpolar Antártico (Markgraf y Huber, 2010). La estrecha relación entre algunos tipos polínicos y hongos permite inferir la presencia de las plantas que generaron el ambiente propicio para el desarrollo de los mismos. Por ejemplo, el registro de *Glomus* –hongo micorrícico– se asocia a condiciones ambientales más secas y al desarrollo de comunidades graminosas. En la IGTF, *Glomus* ha sido registrado en el suelo rizosférico de algunas gramíneas frecuentes en los pastizales degradados por el sobrepastoreo (Mendoza *et al.*, 2002) y en muestras superficiales de la estepa fueguina (Musotto *et al.*, 2012). La vegetación arbórea postglacial está pobremente representada en ambos perfiles; sin embargo, en Terra Australis, el registro conjunto de *Misodendrum* y de restos de cuerpos reproductivos de cf. *Microthyrium fagi* permitió inferir la presencia de árboles en el entorno próximo de la turbera. *M. fagi* ha sido identificado sobre hojas muertas de *N. pumilio* (Arambarri y Gamundi, 1984), mientras que ejemplares de cf. *M. fagi* fueron reconocidos en muestras de superficie provenientes del Bosque Deciduo (Musotto *et al.*, 2012). Así también, el registro de esporas coprófilas (*e.g.*, Tipo-*Sordaria* y Tipo-*Sporormiella*) a lo largo de los perfiles sugiere la presencia de animales herbívoros en el ámbito de ambas turberas.

En Terra Australis, a partir de *ca.* 11.200 años cal. AP, el paisaje muestra la fisonomía de un ecotono bosque-estepa, indicando el comienzo de la expansión de *Nothofagus* en el área. En La Correntina, con posterioridad a *ca.* 11.500 años cal. AP, se desarrolló una vegetación abierta de pastizales y arbustos con escasos árboles de *Nothofagus*, y a partir de 9.400 años cal. AP el ecotono bosque-estepa prevalece en el área. Los estudios realizados en el centro y sur de la IGTF señalaron una alta frecuencia de incendios de carácter regional que habrían sido favorecidos por las condiciones climáticas más secas que las actuales y por la actividad de las poblaciones humanas en la estepa (Heusser, 2003). Durante el Holoceno Temprano los vientos del oeste se habrían debilitado y migrado hacia latitudes más altas, en consonancia con un aumento en las temperaturas registradas a lo largo de la Península Antártica (Bentley *et al.*, 2009; Mansilla *et al.*, 2016). En las turberas La Correntina y Terra Australis, el registro de esporas pirófilo-carbonícolas de *Gelasinospora* en los niveles fósiles con abundancia de restos vegetales carbonizados sustenta también la existencia de incendios en el área estudiada. Por otro lado, la permanencia de *Glomus* indicaría condiciones relativamente secas en relación con las comunidades vegetales del ecotono.

Las condiciones paleoambientales más frías y húmedas, que prevalecieron durante el Holoceno Medio–Tardío, habrían favorecido el desarrollo del bosque cerrado de *Nothofagus*, en relación con una intensificación y/o migración de los vientos del oeste (Heusser, 2003; Markgraf y Huber, 2010). Sin embargo, la expansión del bosque no fue simultánea en estos sitios. Así, en Terra Australis el bosque cerrado se habría establecido *ca.* 6.500 años cal. AP, y en La Correntina con posterioridad a 5.300 años cal. AP. En el ámbito de las turberas, la disminución de las ciperáceas sugiere que las condiciones minerotróficas evidenciadas anteriormente, cambiaron hacia condiciones de ombrotrofía con desarrollo de turberas de *Sphagnum*. Asimismo, la abundancia de Microthyriaceae se relacionaría con la presencia de las comunidades del bosque bajo condiciones de mayor humedad efectiva. En La Correntina, el registro de *Alternaria* y cf. *Sporidesmium* también se asocia con dichas comunidades. La presencia de *Alternaria* se ha documentado en las muestras de superficie tanto de Bosque Deciduo como Siempreverde (Martínez *et al.*, 2001; Musotto *et al.*, 2012) y

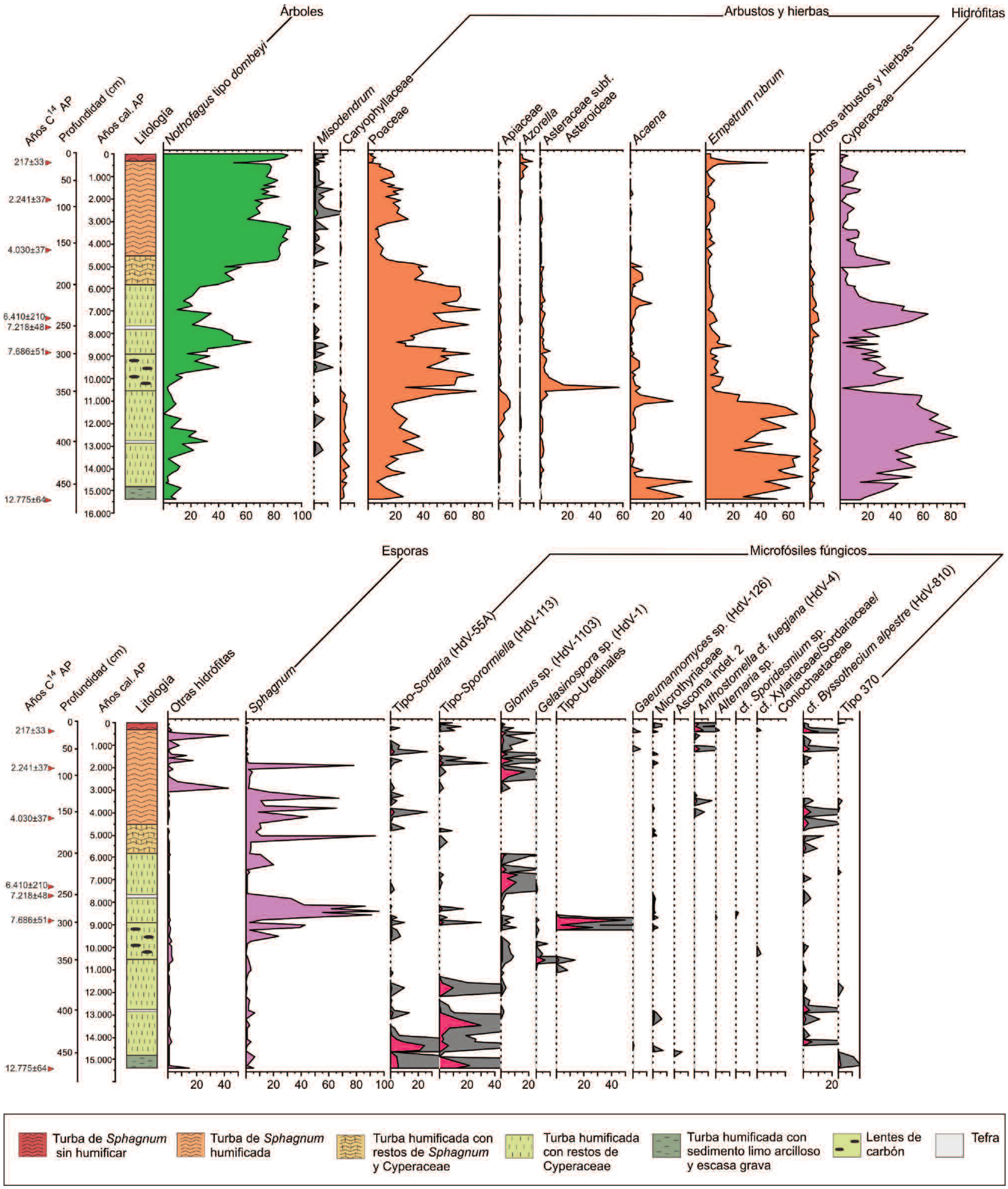


Figura 6. Diagrama de frecuencias relativas de los componentes polínicos y fúngicos del perfil La Correntina (modificado de Musotto *et al.*, 2017a).

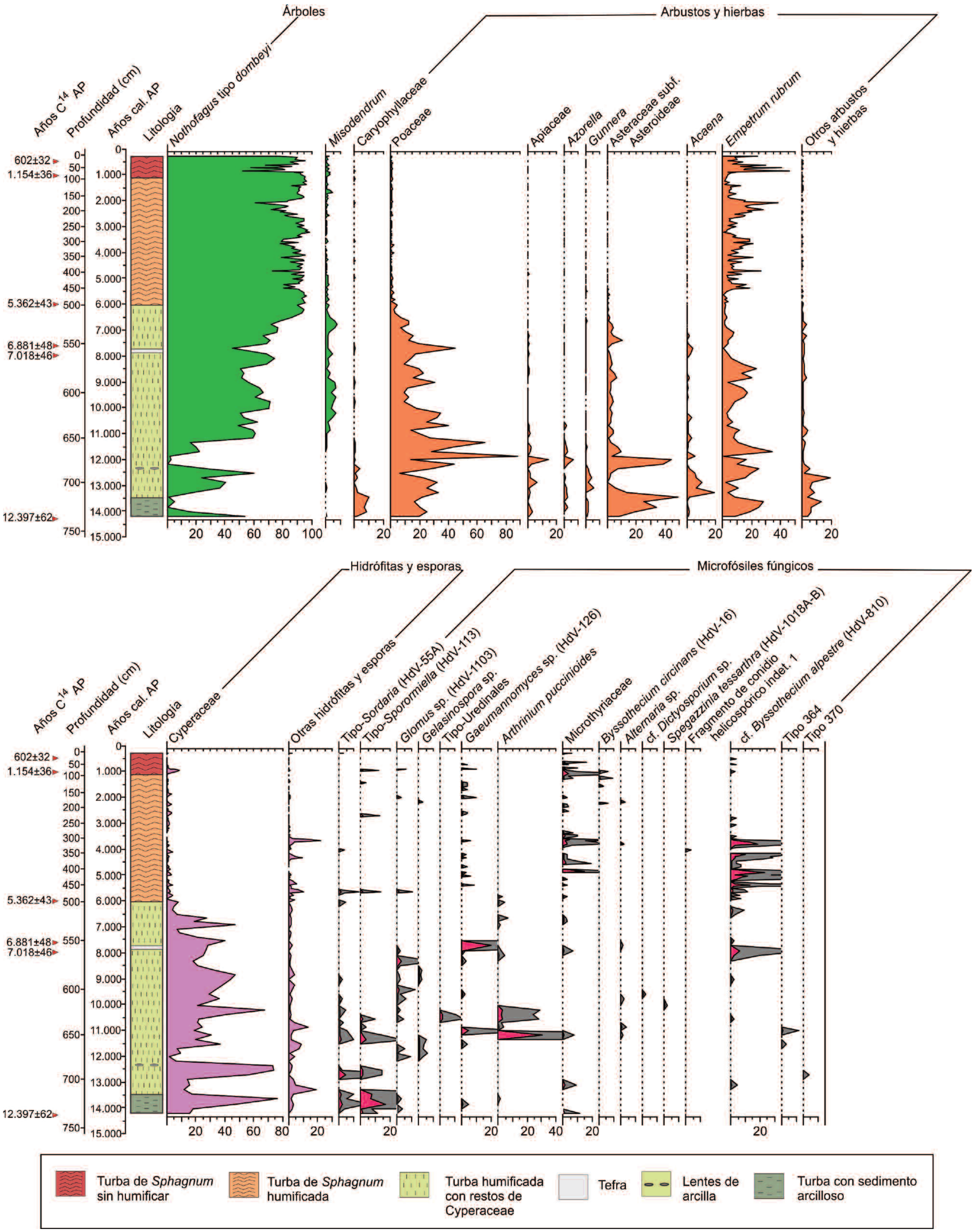


Figura 7. Diagrama de frecuencias relativas de los componentes polínicos y fúngicos del perfil Terra Australis (modificado de Musotto *et al*., 2017a).

en turberas de *Astelia* (Paredes, 2015). En Terra Australis, el registro de *Spegazzinia tessarthra* indicaría la presencia del Bosque Deciduo, ya que esta especie se ha reportado asociada con *N. pumilio* (Godeas y Arambarri, 2007). Por otro lado, los hifopodios de *Gaeumannomyces* se correlacionarían con la ocurrencia de ciperáceas y gramíneas.

El desarrollo asincrónico de las diferentes paleocomunidades vegetales en las localidades estudiadas podría deberse al distinto grado de sensibilidad de los ecosistemas a las fluctuaciones ambientales y climáticas en relación con las condiciones locales de emplazamiento y con su ubicación geográfica. Ambas turberas se encuentran situadas en vertientes opuestas de la Cordillera de los Andes, y en consecuencia, se ven afectadas de manera diferente por el gradiente de precipitación oeste-este.

Isla de los Estados

A partir del análisis polínico de una turbera ubicada en Bahía Franklin (sitio 17, Fig. 1) (Ponce *et al.*, 2017), suroeste de la Isla de los Estados, se infirieron variaciones paleoambientales durante los últimos 1.000 años relacionadas con la PEH. Dicho evento ha sido reconocido también a partir del análisis de *multiproxies* en turberas de los valles andinos interiores de la IGTF, como la turbera del Valle de Andorra (sitio 4, Fig. 1) (Mauquoy *et al.*, 2004), y en la turbera Las Cotorras ubicada en un valle interior de altura (sitio 7, Fig. 1) (Borromei *et al.*, 2010). En el espectro polínico (turbera IDE-2) de Bahía Franklin se observó con anterioridad a *ca.* 500 años cal. AP, el desarrollo de las comunidades propias del Bosque Siempreverde (Dudley y Crow, 1983) evidenciado por el predominio de *Nothofagus* (97%) (posiblemente *N. betuloides*) en asociación con *Drimys winteri* (3%) (Fig. 8). En el perfil polínico del sitio IDE-1 (sitio 16, Fig. 1) se observó una reducción del Bosque Siempreverde entre 1.000 y 500 años cal. AP que fue relacionada con el PCM (Ponce *et al.*, 2011). En IDE-2, a partir de *ca.* 500 años cal. AP se habrían registrado condiciones paleoambientales muy frías y ventosas. Los valores de frecuencia de *Nothofagus* (14%) y *D. winteri* (<1%) decrecieron abruptamente alcanzando valores mínimos a *ca.* 100 años cal. AP, al tiempo que se extendieron los brezales de *E. rubrum* (80%). Es interesante señalar la presencia de *Misodendrum* (3%) con posterioridad a *ca.* 700 años cal. AP, cuando las frecuencias de *Nothofagus* mostraron una tendencia decreciente. Por analogía con su requerimiento ecológico, el registro de polen de *Misodendrum* estaría evidenciando disponibilidad de luz y de hospedantes en relación con comunidades más abiertas del bosque. Luego desaparece probablemente en coincidencia con el deterioro climático durante la PEH. Actualmente, la mortalidad de esta planta hemiparásita se vincula frecuentemente con la muerte de la especie hospedadora, o con eventos climáticos extremos o de disturbio tales como heladas, sequías o incendios, provocando la muerte diferencial del muérdago y la supervivencia del hospedador (Tercero-Bucardo y Kitzberger, 2004). Durante los últimos *ca.* 100 años cal. AP, se observó una recuperación de las comunidades del bosque al tiempo que se retrotraen los brezales de *E. rubrum*.

Canal Beagle

Las asociaciones palinológicas identificadas en los depósitos marinos localizados en la costa norte del Canal Beagle (sitios 8–14, Fig. 1; Tab. 3), permitieron reconstruir la historia depositacional de estos sedimentos e inferir las condiciones paleoambientales existentes durante la transgresión marina del Holoceno en el sur de Tierra del Fuego. En general, las asociaciones muestran la predominancia de palinomorfos terrestres (polen y esporas) sobre los acuáticos (dinoquistes, acritarcos, foraminíferos, entre otros). Durante la incursión marina en el Canal Beagle, la vegetación que predominaba a lo largo del canal y en el área litoral, corresponde a comunidades boscosas cerradas de *Nothofagus*, indicando una gran humedad efectiva por la acción moderadora del mar. Estas condiciones se habrían extendido hasta los últimos 1.000 años cuando se observó un cambio con el predominio de una vegetación litoral de pastizales y arbustos y el desarrollo de un bosque abierto. En cuanto a las asociaciones de palinomorfos acuáticos, las mismas muestran la evolución desde ambientes de agua dulce proglaciales hacia ambientes más salobres hasta alcanzar las condiciones actuales en el canal. Entre 8.500 y 6.200 años cal. AP, las asociaciones de palinomorfos acuáticos identificadas para las localidades de Bahía Lapataia, Aserradero-Lapataia 2 y Río Varela se caracterizan por una baja diversidad de especies de dinoquistes (*e.g.*, *Brigantedinium* spp. y *Selenopemphix* sp.) y de otros taxones marinos con una mayor participación de algas dulceacuícolas como *Spirogyra*

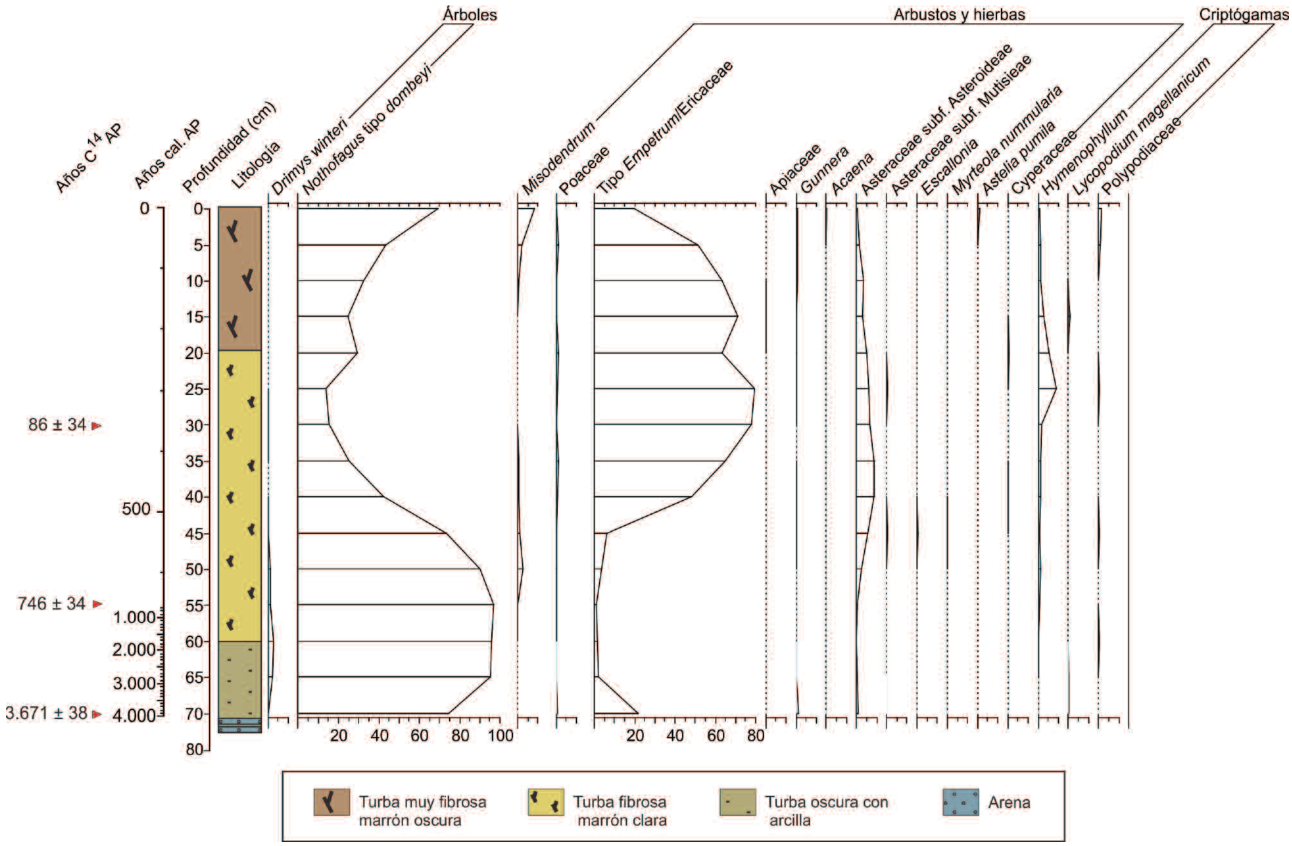


Figura 8. Diagrama polínico de frecuencias relativas de la sección IDE-2, Bahía Franklin (modificado de Ponce *et al.*, 2017).

y *Zygnema*, indicando un ambiente nerítico interno a externo, con salinidad baja y variable, temperatura del agua templado-fría y abundancia de nutrientes disueltos por aporte de agua dulce por derretimiento glacial. Con posterioridad a 6.000 años cal. AP, el paulatino ingreso de agua de mar en el canal es acompañado por un aumento en la diversidad de especies de dinoquistes junto con acritarcos, foraminíferos y huevos de copépodos como se observó en las localidades de Albufera Lanushuaia (sitio 13, Fig. 1) (Candel *et al.*, 2011), Arroyo Baliza (sitio 12, Fig. 1) (Candel *et al.*, 2017) y Río Ovando (sitio 8, Fig. 1). Ambientes estuarinos con aguas ricas en nutrientes por el aporte por escorrentía superficial y salinidades bajas a moderadas caracterizan este período, donde *Brigantedinium* spp. es el taxón dominante. Hacia 3.500 años cal. AP, se registraron asociaciones caracterizadas por los dinoquistes *Brigantedinium* spp., *Echinidinium granulatum*, *Selenopemphix nephroides*, *S. quanta* e *Islandinium cezare*, junto con acritarcos, foraminíferos y algas dulceacuícolas a marino salobres (*Zygnema* sp., *Spirogyra* sp., *Cymatiosphaera* sp., *Tasmanites* sp.), propias de ambientes marinos marginales con salinidades moderadas y temperaturas templado-frías, comparables con aquellas observadas en los sedimentos modernos del fondo del Canal Beagle.

En particular, en la localidad de Río Ovando (Fig. 9) se observó un cambio notable en la composición de la asociación marina entre 3.900 y 3.800 años cal. AP. La asociación de dinoquistes dominada exclusivamente por el *complejo Islandinium-Echinidinium* sugiere la ocurrencia de "especies oportunistas" en relación con un incremento en el aporte de agua dulce proveniente de la fusión de los glaciares (Candel *et al.*, 2009) como consecuencia de cambios en la temperatura y la precipitación (Candel y Borromei, 2016) (Fig. 9). Por otra parte, la baja diversidad observada en la asociación podría ser el resultado de condiciones restringidas y estrés ambiental con salinidades, a menudo, inestables (Gorin y Steffen, 1991).

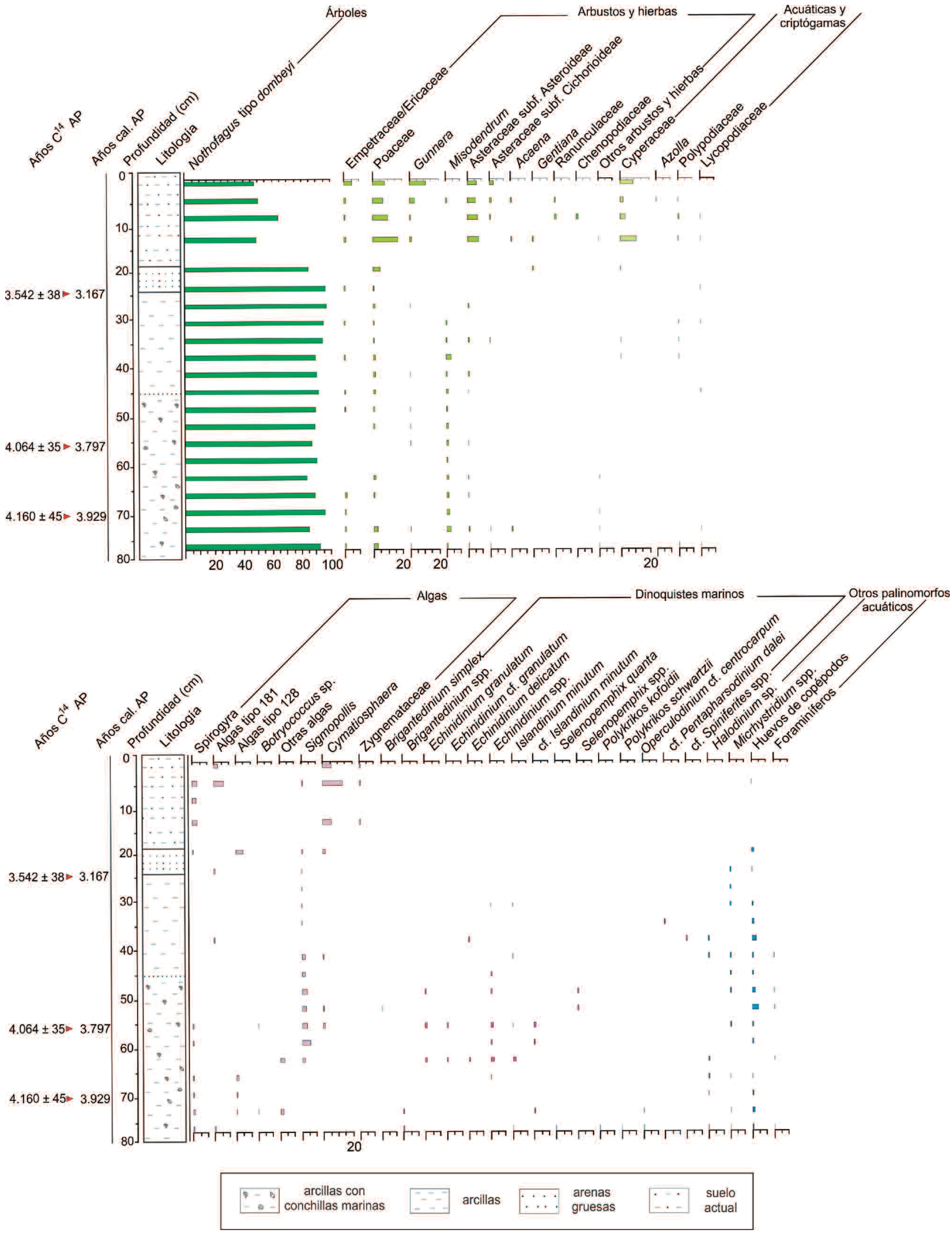


Figura 9. Diagrama de frecuencias relativas de los componentes polínicos y acuáticos de la sección Río Ovando (modificado de Candel, 2010).

PERSPECTIVAS ABIERTAS PARA EL ESTUDIO PALINOLÓGICO DEL CUATERNARIO TARDÍO EN EL ARCHIPIÉLAGO DE TIERRA DEL FUEGO

La mayoría de los estudios palinológicos desarrollados en las últimas décadas han sido realizados en el sector centro-sur de la IGTF principalmente en secuencias de turberas y afloramientos de niveles de turba fósil, los cuales constituyen importantes reservorios de información paleoambiental del Cuaternario tardío. En el futuro se espera contribuir al conocimiento de los cambios ambientales ocurridos durante los últimos 1.000 años, con énfasis en los eventos climáticos del PCM y la PEH, a partir de los resultados palinológicos de testigos obtenidos de lagunas de altura de los Andes Fueguinos del sur de la IGTF. Por otro lado, los datos disponibles para el norte de la IGTF no permiten elaborar, hasta el momento, un escenario detallado de la vegetación y el clima postglacial en esa región. Un estudio palinológico reciente evidenció fluctuaciones entre períodos áridos y húmedos durante el Pleistoceno tardío–Holoceno, probablemente asociadas a variaciones en las precipitaciones en relación con cambios en la frecuencia de los vientos portadores de humedad (Borromei *et al.*, 2018). En este sentido, las lagunas semipermanentes son objeto de interés en cuanto a su rol tanto paleoambiental como arqueológico, bajo la suposición de que fueron sitios propicios para la concentración de fauna local y grupos humanos. Nuevos estudios de secuencias sedimentarias de paleosuelos y de depósitos eólicos y lacustres en la estepa de la IGTF aportarán datos respecto de las características de estas oscilaciones climáticas.

El análisis palinológico de los sedimentos marinos modernos así como de depósitos del Holoceno aflorantes a lo largo de la costa norte del Canal Beagle, proporcionó los elementos para comprender la historia de los ecosistemas actuales terrestres y marinos, su dinámica y su capacidad de reacción ante el cambio climático. Esto ha permitido identificar las fluctuaciones cuaternarias del nivel del mar en el ámbito de Tierra del Fuego. El desarrollo de nuevos estudios en testigos de fondo marino extraídos del Canal Beagle ampliará el conocimiento sobre la evolución paleoambiental de dicho canal y los cambios del nivel del mar ocurridos durante el Tardiglacial y el Holoceno. De igual manera, el análisis de los depósitos sedimentarios localizados en cercanías a la costa atlántica en el centro-norte de la IGTF permitirá obtener información acerca de la transgresión marina del Holoceno en este sector de la isla a fin de correlacionar con los datos disponibles del sector sur de Tierra del Fuego e Isla de los Estados.

La integración de la información palinológica con los resultados provenientes de otros indicadores (geomorfológicos, paleomagnéticos y micropaleontológicos) permitirá establecer un modelo paleoclimático más preciso para el extremo austral de América del Sur.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento a Aldo R. Prieto por la invitación a participar en este volumen temático y por sus comentarios constructivos. También se agradecen los aportes realizados por V. Markgraf y un árbitro anónimo. Este trabajo se realizó con el apoyo económico del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), PIP 112-201301-00323 y de la Secretaría General de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional del Sur (SGCyT), PGI 24/H126.

BIBLIOGRAFÍA

Arambarri, A.M. y Gamundi, I.J. 1984. Micoflora de la hojarasca de *Nothofagus pumilio* y *N. oblicua* II. *Darwiniana* 25: 255–265.

Auer, V. 1933. Verschiebungen der Wald- und Steppengebiete Feuerland's in postglazialer Zeit. *Acta Geographica* 5: 1–313.

Auer, V. 1974. The isorhythmicity subsequent to the Fuego-Patagonian and Fennoscandian ocean levels transgressions and regressions of the latest glaciation. The significance of tephrochronology, C-14 dating and micropaleontology for Quaternary research. *Annales Academiae Scientarum Fennicae. A, III, Geologica Geographica* 115: 1–88.

Auer, V., Salmi, M. y Salminen, K. 1955. Pollen and spore types of Fuego Patagonia. *Annales Academiae Scientarum Fennicae. A, III, Geologica Geographica* 43: 1–14.

Bentley, M.J., Hodgson, D.A., Smith, J.A. *et al.* 2009. Mechanisms of Holocene palaeoenvironmental change in the Antarctic Peninsula region. *The Holocene* 19: 51–69.

Birks, H.J. y Birks, H.H. 1980. *Quaternary Palaeoecology*. Arnold (Publishers) Limited, London, 289 p.

Björck, S., Rundgren, M., Ljung, K., Unkel, I. y Wallin, Å. 2012. Multiproxy analyses of a peat bog on Isla de los Estados, easternmost Tierra del Fuego: a unique record of the variable Southern Hemisphere Westerlies since the last deglaciation. *Quaternary Science Reviews* 42: 1–14.

Borromei, A.M. 1995. Análisis polínico de una turbera holocénica en el Valle de Andorra, Tierra del Fuego, Argentina. *Revista Chilena de Historia Natural* 68: 311–319.

Borromei, A.M. y Quattrocchio, M. 2001. Palynological study of Holocene marine sediments from Bahía Lapataia, Beagle Channel, Tierra del Fuego, Argentina. *Revista Española de Micropaleontología* 33: 61–70.

Borromei, A.M. y Quattrocchio, M. 2007. Palynology of Holocene marine deposits at Beagle Channel, southern Tierra del Fuego,

Argentina. *Ameghiniana* 41: 161–171.

Borromei, A.M., Coronato, A., Franzén, L.G. *et al*. 2010. Multiproxy record of Holocene paleoenvironmental change, Tierra del Fuego, Argentina. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 286: 1–16.

Borromei, A.M., Coronato, A., Quattrocchio, M., Rabassa, J., Grill, S. y Roig, C. 2007. Late Pleistocene–Holocene environments in Valle Carbajal, Fuegian Andes valley, southern South America. *Journal of South American Earth Sciences* 23: 321–335.

Borromei, A.M., Musotto, L.L., Coronato, A., Ponce, J.F. y Pontevedra-Pombal, X. 2016. Postglacial vegetation and climate changes inferred from a peat pollen record in the Río Pipo valley, southern Tierra del Fuego. En: M. Martínez y D. Olivera (Eds.), *Palinología del Meso-Cenozoico de Argentina - Volumen en homenaje a Mirta Elena Quattrocchio. Publicación Especial de la Asociación Paleontológica Argentina* 16, p. 168–183.

Borromei, A.M., Ponce, J.F., Coronato, A., Candel, M.S., Olivera, D. y Okuda, M. 2014. Reconstrucción de la vegetación posglacial y su relación con el ascenso relativo del nivel del mar en el extremo este del canal Beagle, Tierra del Fuego. *Andean Geology* 41: 362–379.

Borromei, A.M., Candel, M.S., Musotto, L.L. *et al*. 2018. Late Holocene wet/dry intervals from Fuegian steppe at Laguna Carmen, southern Argentina, based on a multiproxy record. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 499: 56–71.

Burry, L.S., Trivi de Mandri, M.E. y D'Antoni, H.L. 2007. Modern analogues and past environments in central Tierra del fuego, Argentina. *Anales Instituto de la Patagonia* 35: 5–14.

Bujalesky, G., Coronato, A., Roig, C. y Rabassa, J. 2004. Holocene differential tectonic movements along the argentine sector of the Beagle Channel (Tierra del Fuego) inferred from marine palaeoenvironments. *Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata* 45: 235–238.

Candel, M.S. 2010. [*Cambios relativos del nivel del mar en el Canal Beagle, Tierra del Fuego (Cenozoico Tardío), en base al análisis palinológico*. Tesis doctoral, Departamento de Geología, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, 194 p. Inédita.].

Candel, M.S. y Borromei, A.M. 2013. Caracterización taxonómica y paleoecológica de la ingresión del Holoceno en el Canal Beagle (Tierra del Fuego), en base a las asociaciones de dinoquistes y otros palinomorfos acuáticos. *Revista Brasileira de Paleontología* 16: 245–262.

Candel, M.S. y Borromei, A.M. 2016. Palaeoenvironmental reconstruction of late Quaternary marine sequences, Tierra del Fuego (Argentina). En: M. Martínez y D. Olivera (Eds.), *Palinología del Meso-Cenozoico de Argentina - Volumen en homenaje a Mirta Elena Quattrocchio. Publicación Electrónica de la Asociación Paleontológica Argentina* 16, p. 184–201.

Candel, M.S., Borromei, A.M., Martínez, M.A. y Bujalesky, G. 2013. Palynofacies analysis of surface sediments from Beagle Channel and its application as modern analogues for Holocene records of Tierra del Fuego, Argentina. *Palynology* 37: 62–76.

Candel, M.S., Borromei, A.M., Martínez, M.A., Gordillo, S., Quattrocchio, M. y Rabassa, J. 2009. Middle–Late Holocene palynology and marine mollusks from Archipielago Cormoranes area, Beagle Channel, southern Tierra del Fuego, Argentina. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 273: 111–122.

Candel, M.S. y Louwye, S. 2015. Palaeoenvironmental conditions during the Holocene transgressive-regressive event in the Beagle Channel, Tierra del Fuego, southern Argentina. *6° Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología* (Ushuaia), *Actas*: 140.

Candel, M.S., Louwye, S. y Borromei, A.M. 2017. Reconstruction of the late Holocene paleoenvironment of the western Beagle Channel (Argentina) based on a palynological analysis. *Quaternary International* 442: 2–12.

Candel, M.S., Martínez, M.A. y Borromei, A.M. 2011. Palinología y palinofacies de una secuencia marina del Holoceno mediotardío: Albufera Lanushuaia, Canal Beagle, Tierra del Fuego, Argentina. *Revista Brasileira de Paleontología* 14: 297–310.

Candel, M.S., Radi, T., de Vernal, A. y Bujalesky, G. 2012. Distribution of dinoflagellate cysts and other aquatic palynomorphs in surface sediments from the Beagle Channel, southern Argentina. *Marine Micropaleontology* 96–97: 1–12.

Chambers, F.M., van Geel, B. y van der Linden, M. 2011. Considerations for the preparation of peat samples for palynology, and for the counting of pollen and non-pollen palynomorphs. *Mires and Peat* 7: Artículo 11, 1–14.

Collantes, M.B. y Faggi, A.M. 1999. Los humedales del sur de Sudamérica. En: A.I. Malvárez (Ed.), *Tópicos sobre humedales subtropicales y templados de Sudamérica*. UNESCO, Montevideo, Uruguay, p. 15–25.

Coronato, A., Roig, C., Collado, L. y Roig, F. 2006. Geomorphologic emplacement and vegetation characteristics of Fuegian peatlands, southernmost Argentina, South America. En: I.P. Martini, A. Martínez Cortizas y W. Chesworth (Eds.), *Peatlands: Evolution and Records of Environmental and Climate Changes. Developments in Earth Surface Processes Series* 9. Elsevier, Amsterdam, p. 111–128.

Correa, M.N. 1998. *Flora Patagónica*, parte 1. Colección Científica del I.N.T.A. Tomo VIII. Buenos Aires, 391 p.

Cugny, C., Mazier, F. y Galop, D. 2010. Modern and fossil non-pollen palynomorphs from the Basque mountains (western Pyrenees, France): the use of coprophilous fungi to reconstruct pastoral activity. *Vegetation History and Archaeobotany* 19: 391–408.

de Vernal, A., Eynaud, F., Henry, M. *et al*. 2005. Reconstruction of sea-surface conditions at middle to high latitudes of the Northern Hemisphere during the Last Glacial Maximum (LGM) based on dinoflagellate cyst assemblages. *Quaternary Science Reviews* 24: 897–924.

de Vernal, A., Henry, M., Matthiessen, J. *et al*. 2001. Dinoflagellate cyst assemblages as tracers of sea-surface conditions in the northern North Atlantic, Arctic and sub-Arctic seas: the new 'n=677' data base and its application for quantitative palaeoceanographic reconstruction. *Journal of Quaternary Science* 16: 681–698.

Donoso, C. 1993. *Bosques templados de Chile y Argentina*. Editorial Universitaria, S.A. Santiago de Chile, 483 p.

Dudley, T.R. y Crow, G.E. 1983. A contribution to the Flora and Vegetation of Isla de los Estados (Staaten Island), Tierra del Fuego, Argentina. En: B. Parker (Ed.), *Terrestrial Biology II*, *Antarctic Research Series* 37. American Geophysical Union, Washington, D.C., p. 1–26.

Durantou, L., Rochon, A., Ledu, D. y Massé, G. 2012. Quantitative reconstruction of sea-surface conditions over the last ~150 yr in the Beaufort Sea based on dinoflagellate cyst assemblages: the role of large-scale atmospheric circulation patterns. *Biogeosciences Discuss* 9: 7257–7289.

Fernández, D.A., Santamarina, P.E., Tellería, M.C., Palazzesi, L. y Barreda, V.D. 2016. Pollen morphology of *Nothofagus* (Nothofagaceae, Fagales) and its phylogenetic significance. *Acta Palaeobotanica* 56: 223–245.

Fesq-Martin, M., Friedmann, A., Peters, M., Behrmann, J. y Kilian, R. 2004. Late-glacial and Holocene vegetation history of the Magellanic rain forest in southwestern Patagonia, Chile. *Vege-*

tation History and Archaeobotany 13: 249–255.

Figini, A.J. 1993. *Geocronología: métodos de datación en el Cuaternario*. LATYR Laboratorio de Tritio y Radiocarbono. Publicaciones, La Plata, 18 p.

Fontana, S.L. y Bennett, K.D. 2012. Postglacial vegetation dynamics of western Tierra del Fuego. *Holocene* 22: 1337–1350.

Gelorini, V., Verbeken, A., van Geel, B., Cocquyt, C. y Verschuren, D. 2011. Modern non-pollen palynomorphs from East African lake sediments. *Review of Palaeobotany and Palynology* 164: 143–173.

Godeas, A.M. y Arambarri, A.M. 2007. Hifomicetes lignícolas de Tierra del Fuego (Fungi, Fungi Imperfecti, Hyphomycetales). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 42: 59–69.

Gordillo, S. 1993. Las terrazas marinas holocenas de la región del Beagle (Tierra del Fuego) y su fauna asociada. *12° Congreso Geológico Argentino* (Mendoza), *Actas* 6: 34–39.

Gordillo, S., Bujalesky, G., Pirazzoli, P., Rabassa, J. y Saliége, J. 1992. Holocene raised beaches along the northern coast of the Beagle Channel, Tierra del Fuego, Argentina. *Palaeogeography*, *Palaeoclimatology*, *Palaeoecology* 99: 41–54.

Gordillo, S., Brey, T., Beyer, K. y Lomovasky, B.J. 2015. Climatic and environmental changes during the middle to late Holocene in southern South America: A sclerochronological approach using the bivalve *Retrotapes exalbidus* (Dillwyn) from the Beagle Channel. *Quaternary International* 377: 83–90.

Gorin, G.E. y Steffen D. 1991. Organic facies as a tool for recording eustatic variations in marine fine-grained carbonates – example of the Berriasian stratotype at Berrias (Ardèche, SE France). *Palaeogeography*, *Palaeoclimatology*, *Palaeoecology* 85: 303–320.

Grill, S., Borromei, A.M., Quattrocchio, M., Coronato, A., Bujalesky, G. y Rabassa, J. 2002. Palynological and sedimentological analysis of recent sediments from Río Varela, Beagle Channel, Tierra del Fuego, Argentina. *Revista Española de Micropaleontología* 34: 145–161.

Heusser, C.J. 1971. *Pollen and Spores of Chile*. Tucson AZ: The University of Arizona Press, 167 p.

Heusser, C.J. 1989. Late Quaternary Vegetation and Climate of Southern Tierra del Fuego. *Quaternary Research* 31: 396–406.

Heusser, C.J. 2003. *Ice age southern Andes - A chronicle of paleoecological events*. *Developments in Quaternary Science* 3. Elsevier, Amsterdam, 240 p.

Hooghiemstra, H. 1984. Vegetational and climatic history of the High Plain of Bogotá, Colombia: a continuous record of the last 3.5 million years. *Dissertationes Botanicae* 79: 1–368.

Iglesias, V., Quintana, F., Nanavati, W. y Whitlock, C. 2017. Interpreting modern and fossil pollen data along a steep environmental gradient in northern Patagonia. *Holocene* 27: 1008–1018.

Isla, F., Bujalesky, G. y Coronato, A. 1999. Procesos estuarinos en el canal Beagle, Tierra del Fuego. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 54: 307–318.

Iturraspe, R. 2010. *Las turberas de Tierra del Fuego y el cambio climático global*. 1a ed. Fundación para la Conservación y el Uso Sustentable de los Humedales. Buenos Aires, 32 p.

Kühnemann, O. 1976. Observaciones ecológicas sobre la vegetación marina y terrestre de la Isla de los Estados (Tierra del Fuego, Argentina). *Ecosur* 3: 121–248.

Loisel, J. y Yu, Z. 2013. Holocene peatland carbon dynamics in Patagonia. *Quaternary Science Reviews* 69: 125–141.

Mansilla, C.A., McCulloch, R.D. y Morello, F. 2016. Palaeoenvironmental change in southern Patagonia during the Lateglacial and Holocene: implications for forest refugia and climate reconstructions. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 447: 1–11.

Markgraf, V. 1980. New data on the late- and postglacial vegetational history of La Misión, Tierra del Fuego, Argentina. *4th International Palynological Conference* (Lucknow, India), *Proceedings* 3: 68–74.

Markgraf, V. 1983. Late and postglacial vegetational and paleoclimatic changes in subantarctic, temperate and arid environments in Argentina. *Palynology* 7: 43–70.

Markgraf, V. 1991. Late Pleistocene environmental and climatic evolution in southern South America. *Bamberger Geographische Schriften* 11: 271–281.

Markgraf, V. 1993. Paleoenvironments and paleoclimates in Tierra del Fuego and southernmost Patagonia, South America. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 102: 53–68.

Markgraf, V. 2016. First Pollen Record in South America. Commentary: Die Zeichenschrift der Pollenstatistik. *Frontiers in Earth Sciences* 4: 100.

Markgraf, V. y D'Antoni, H.L. 1978. *Pollen flora of Argentina*. University of Arizona Press, Tucson, 208 p.

Markgraf, V. y Huber, U.M. 2010. Late and postglacial vegetation and fire history in Southern Patagonia and Tierra del Fuego. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 297: 351–366.

Martínez, A.E., Chiocchio, V.M. y Godeas, A.M. 2001. Cellulolytic Hyphomycetes on soil of *Nothofagus* forests in Tierra del Fuego. *Gayana Botánica* 58: 123–132.

Mauquoy, D., Blaauw, M., van Geel, B. *et al.* 2004. Late–Holocene climatic changes in Tierra del Fuego based on multi-proxy analyses of peat deposits. *Quaternary Research* 61: 148–158.

McCulloch, R.D. y Davies, S.J. 2001. Late Glacial-Holocene palaeoenvironmental change in central Strait of Magellan, southern Patagonia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 173: 143–173.

Mendoza, R.E., Goldmann, V., Rivas, J. *et al.* 2002. Poblaciones de hongos micorrízicos arbusculares en relación con las propiedades del suelo y de la planta hospedante en pastizales de Tierra del Fuego. *Ecología Austral* 12: 105–116.

Miola, A. 2012. Tools for Non-Pollen Palynomorphs (NPPs) analysis: A list of Quaternary NPP types and reference literature in English language (1972–2011). *Review of Palaeobotany and Palynology* 186: 142–161.

Moore, D.M. 1983. *Flora of Tierra del Fuego*. Nelson, Oswestry, England, 396 p.

Moreno, P.I., Vilanova, I., Villa-Martínez, R., Garreaud, R.D., Rojas, M. y De Pol-Holz, R. 2014. Southern annular mode-like changes in southwestern Patagonia at centennial timescales over the last three millennia. *Nature Communications* 5: 4375.

Musotto, L.L. 2013. [*Paleoambientes y paleoclimas del Cuaternario tardío en turberas del centro de la Isla Grande de Tierra del Fuego en base al análisis palinológico*. Tesis doctoral, Departamento de Biología, Bioquímica y Farmacia, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, 220 p. Inédita.].

Musotto, L.L., Bianchinotti, M.V. y Borromei, A.M. 2012. Pollen and fungal remains as environmental indicators in surface sediments of Isla Grande de Tierra del Fuego, southernmost Patagonia. *Palynology* 36: 162–179.

Musotto, L.L., Bianchinotti, M.V. y Borromei, A.M. 2013. Inferencias paleoecológicas a partir del análisis de microfósiles fúngicos en una turbera pleistoceno-holocena de Tierra del Fuego (Argentina). *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales* 15: 89–98.

Musotto, L.L., Borromei, A.M., Bianchinotti, M.V. y Coronato, A. 2017a. Late Quaternary palaeoenvironmental reconstruction of central Tierra del Fuego (Argentina) based on main fossil pollen and fungi. *Quaternary International* 442: 13–25.

Musotto, L.L., Borromei, A.M., Bianchinotti, M.V. *et al.* 2017b. Postglacial environments in the southern coast of Lago Fagnano, central Tierra del Fuego, Argentina, based on pollen and fungal microfossils analyses. *Review of Palaeobotany and Palynology* 238: 43–54.

Musotto, L.L., Borromei, A.M., Coronato, A., Menounos, B., Osborn, G. y Marr, R. 2016. Late Pleistocene and Holocene palaeoenvironmental changes in central Tierra del Fuego (~54°S) inferred from pollen analysis. *Vegetation History and Archaeobotany* 25: 117–130.

Paredes, N.I. 2015. [*Estudio de la diversidad fúngica en turberas compactas del sur de Tierra del Fuego.* Tesis doctoral, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, 176 p. Inédita.].

Pisano, E. 1977. Fitogeografía de Fuego-Patagonia Chilena. I.- Comunidades vegetales entre las latitudes 52° y 56° S. *Anales Instituto de la Patagonia* 8: 121–250.

Ponce, J.F. 2009. [*Palinología y geomorfología del Cenozoico tardío de la Isla de los Estados*. Tesis Doctoral, Departamento de Geología, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, 191 p. Inédita.].

Ponce, J.F., Borromei, A.M., Menounos, B. y Rabassa, J.O. 2017. Late-Holocene and Little Ice Age palaeoenvironmental change inferred from pollen analysis, Isla de los Estados, Argentina. *Quaternary International* 442: 26–34.

Ponce, J.F., Borromei, A.M., Rabassa, J.O. y Martínez, O. 2011. Late Quaternary palaeoenvironmental change in western Staaten Island (54.5° S, 64° W), Fuegian Archipelago. *Quaternary International* 233: 89–100.

Ponce, J.F., Coronato, A., Fernández, M., Roig, C. y Rabassa, J.O. 2014. Las turberas de Tierra del Fuego y el clima del pasado. *Ciencia hoy* 23: 10–17.

Prieto, A.R. 2018. Historia de la palinología del Cuaternario en la Argentina: una reseña a 90 años de sus comienzos. En: A.R. Prieto (Ed.), *Metodologías y estrategias del análisis palinológico del Cuaternario tardío. Publicación Electrónica de la Asociación Paleontológica Argentina* 18: 1–17.

Rabassa, J. 2000. Las turberas como fuente de información paleoambiental. En: A. Coronato y C. Roig (Eds.), *Memorias del Curso-taller Conservación de ecosistemas a nivel mundial, con énfasis en las turberas de Tierra del Fuego*. Ushuaia, Argentina, p. 69–79.

Rabassa, J., Bujalesky, G., Meglioli, A. *et al.* 1992. The Quaternary of Tierra del Fuego, Argentina: the status of our knowledge. *Sveriges Geologiska Underskoning* 81: 249–256.

Rabassa, J., Coronato, A., Bujalesky, G. *et al.* 2000. Quaternary of Tierra del Fuego, Southernmost South America: an updated review. *Quaternary International* 68–71: 217–240.

Rabassa, J., Coronato, A., Gordillo, S., Candel, M.S. y Martínez, M.A. 2009. Paleoambientes litorales durante el inicio de la transgresión marina holocena en Bahía Lapataia, Canal Beagle, Parque Nacional Tierra del Fuego. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 65: 648–659.

Rabassa, J., Coronato, A. y Roig, C. 1996. The Peat Bogs of Tierra del Fuego, Argentina. En: E. Lappalainen (Ed.), *Global Peat Resources*. International Peat Society Publisher, Jyskä, Finland, p. 261–266.

Rabassa, J., Coronato, A., Roig, C., Martínez, O. y Serrat, D. 2004. Un bosque sumergido en Bahía Sloggett, Tierra del Fuego, Argentina: evidencias de comportamiento tectónico diferencial en el Holoceno tardío. Procesos geomorfológicos y evolución costera. En: *2° Reunión de Geomorfología Litoral* (Universidad de Santiago de Compostela), *Actas*: 333–346.

Radi, T. y de Vernal, A. 2008. Cysts as proxy of primary productivity in mid-high latitudes of the Northern Hemisphere. *Marine Micropaleontology* 68: 84–114.

Reimer, P., Bard, E., Bayliss, A. *et al.* 2013. IntCal13 and Marine13 Radiocarbon Age Calibration Curves 0–50,000 Years cal BP. *Radiocarbon* 55: 1869–1887.

Roig, F. 1998. La Vegetación de la Patagonia. En: M. Correa (Ed.), *Flora Patagónica*, parte 1. Colección Científica del I.N.T.A. Buenos Aires, p. 48–167.

Roig, C. 2004. Antecedentes sobre turberas en Tierra del Fuego. En: D. Blanco y V. de la Balze (Eds.), *Los turbales de la Patagonia. Bases para su inventario y la conservación de su biodiversidad*. Wetlands International, Buenos Aires, p. 33–44.

Roig, C. y Roig, F. 2004. Consideraciones generales. En: D. Blanco y V. de la Balze (Eds.), *Los Turbales de la Patagonia: Bases para su inventario y la conservación de su biodiversidad.* Wetlands Internacional, Buenos Aires, p. 5–21.

Rojas, M., Moreno, P., Kageyama, M., Crucifix, M., Hewitt, C., Abe-Ouchi, A. *et al.* 2009. The Southern Westerlies during the last glacial maximum in PMIP2 simulations. *Climate Dynamics* 32: 525–548.

Simi, E., Moreno, P., Villa-Martínez, R., Vilanova, I. y De Pol-Holz, R. 2017. Climate change and resilience of deciduous *Nothofagus* forests in central–east Chilean Patagonia over the last 3200 years. *Journal of Quaternary Science* 32: 845–856. doi:10.1002/jqs.2948

Stuiver, M., Reimer, P.J. y Reimer, R.W. 2015. Calib 7.1: computer program for radiocarbon calibration. World Wide Web: http://calib.qub.ac.uk/calib/

Tercero-Bucardo, N. y Kitzberger, T. 2004. Establishment and life history characteristics of the southern South American mistletoe *Misodendrum punctulatum* Misodendraceae). *Revista Chilena de Historia Natural* 77: 509–521.

Trivi de Mandri, M.E., Burry, L.S. y D'Antoni, H.L. 2006. Dispersión-depositación del polen actual en Tierra del Fuego, Argentina. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 77: 89–95.

Tuhkanen, S. 1992. The climate of Tierra del Fuego from a vegetation geographical point of view and its ecoclimatic counterparts elsewhere. *Acta Botanica Fennica* 125: 4–17.

Tyson, R. 1995. *Sedimentary organic matter*. Chapman & Hall Eds., Londres, 615 p.

van Geel, B. 2001. Non-pollen palynomorphs. En: J.P. Smol, H.J.B. Birks y W.M. Last (Eds.), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Volume 3: Terrestrial, algal and siliceous indicators*. Kluwer Academic Press, Dordrecht, p. 99–119.

van Geel, B. y Aptroot, A. 2006. Fossil ascomycetes in Quaternary deposits. *Nova Hedwigia* 82: 313–329.

van Geel, B., Buurman, J., Brinkkemper, O., Schelvis, J., Aptroot, A., Reenen, G. *et al.* 2003. Environmental reconstruction of a Roman Period settlement site in Uitgeest (The Netherlands), with special reference to coprophilous fungi. *Journal of Archaeological Science* 30: 873–883.

von Post, L. 1929. Die Zeichenschrift der Pollenstatistik. *Geologiska Föreningens Förhandlingar* 51: 543–565.

Waldmann, N., Borromei, A.M., Recasens, C. *et al.* 2014. Integrated reconstruction of Holocene millennial-scale environmental changes in Tierra del Fuego, southernmost South America. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 399: 294–309.

Doi: 10.5710/PEAPA.16.05.2018.248

Recibido: 23 de septiembre de 2017

Aceptado: 16 de mayo de 2018